



Aalto-yliopisto
Insinöörیتieteiden
korkeakoulu

Jaakko Kiviluoma

Kysyntäjouston käyttöönottomahdollisuudet Keski- ja Pohjois-Euroopan kaukolämpöverkoissa

Diplomityö, joka on jätetty opinnäytteenä tarkastettavaksi
diplomi-insinöörin tutkintoa varten.

Espoossa 27.11.2017

Valvoja: Professori Sanna Syri

Ohjaaja: Diplomi-insinööri Sonja Salo

Tekijä Jaakko Kiviluoma

Työn nimi Kysyntäjoustop käyttöönottomahdollisuudet Keski- ja Pohjois-Euroopan
kaukolämpöverkoissa

Koulutusohjelma Energia- ja LVI-tekniikka

Pääaine Energiatekniikka

Koodi K3007

Työn valvoja Prof. Sanna Syri

Työn ohjaaja DI Sonja Salo

Päivämäärä 27.11.2017

Sivumäärä 63 + 2

Kieli suomi

Tiivistelmä

Rakennusten kuluttama lämpöenergia muodostaa merkittävän osan kaikesta energiankulutuksesta. Rakennusten energiatehokkuuden parantamisessa vallitseva tapa on ollut rakennuksen kokonaisenergiankulutuksen vähentäminen. Tässä työssä tutkitussa rakennusten kysyntäjoustop tavoitteena on parantaa energiatehokkuutta tehostamalla rakennuksen energiankäyttöä.

Käytännössä kysyntäjoustop avulla rakennuksen lämpöenergian käyttöä siirretään lämmöntuotantolaitteistolle optimaalisempaan ajankohtaan. Tässä työssä tutkittiin mahdollisuuksia ottaa kysyntäjoustop käyttöön työhön valituissa kaukolämpöverkoissa. Mahdollisuuksia tutkittiin etenkin lyhyellä aikavälillä hyödynnettävissä olevien mahdollisuuksien osalta.

Kysyntäjoustop käyttöönottomahdollisuuksia tutkittiin kahdella eri tavalla. Suomalaisille kaukolämpöyhtiöille tehtiin puhelimitse suoritettu kyselytutkimus ja muiden maiden kaukolämpöverkoja tutkittiin julkisten tietolähteiden avulla. Saatuja tuloksia verrattiin työssä selvitettyyn teoretiseen.

Kysyntäjoustop käyttöönottopotentialista saadut tulokset olivat lupaavia ja työssä selvisi useampia kysyntäjoustop soveltuvia kohteita. Kohteista, joiden potentiaali jäi tämän työn puitteissa epäselväksi, saatiin selville tärkeimmät lisäselvityksiä vaativat aihealueet.

Työssä saatujen tulosten perusteella rakennusten kysyntäjoustop on soveltuvissa kaukolämpöverkoissa mahdollistaa kehittää ja ottaa käyttöön jo nyt. Tämä vaatii kaikilta kysyntäjoustop osapuolilta aktiivista ja myönteistä suhtautumista sen kehittämiseen.

Avainsanat kysyntäjoustop, rakennusten kysyntäjoustop, kaukolämmön kysyntäjoustop, energiatehokkuus, kaukolämpö, kaukolämpömarkkinat



Author Jaakko Kiviluoma

Title of thesis Possibilities to implement demand response in Middle- and Northern-European district heating networks

Degree programme Energy and HVAC-Technology

Major Energy Technology

Code K3007

Thesis supervisor Prof. Sanna Syri

Thesis advisor Sonja Salo M.Sc. (Tech)

Date 27.11.2017

Number of pages 63 + 2

Language Finnish

Abstract

The amount of heat consumed by buildings is a major part of all energy consumption. The traditional way of improving energy efficiency in buildings has been reducing the overall consumption of the building. The demand response of buildings studied in this work aims to improve energy efficiency of buildings by enhancing the energy use of the building.

In practice, with demand response, the use of thermal energy of the building is shifted to a more suitable moment, regarding the heat production system. In this thesis, possibilities to implement demand response in chosen district heating networks was studied. The possibilities were studied especially on short-term basis.

The possibilities to implement demand response were studied in two different ways. To Finnish district heating companies, a phone survey was made and the district heating networks of other countries were investigated with information available on public information sources. The results were compared to the theoretical knowledge found out in this thesis.

The results of the potential of implementing demand response were promising and in this thesis it several places suitable for demand response were found out. Of places, whose potential was left unclear in this thesis, crucial topics for further studies were found out.

According to the results of this thesis, it is possible to implement and further improve demand response of building instantly in district heating networks found suitable. This calls for active and positive attitude from all participants of demand response on its development.

Keywords demand response, demand response of buildings, demand response of district heating, energy efficiency, district heating, district heating markets

Alkusanat

Tämä diplomityö toteutettiin osana Innovaatiokeskus Tekesin rahoittamaa REINO-hanketta. Haluan kiittää REINO-hankkeen osapuolia mahdollisuudesta tehdä tämä hyvin ajankohtainen diplomityö osana hanketta ja sen tavoitteita. Työn rajauksessa REINO-hankkeen antamat suuntaviivat olivat tärkeä apu.

Työn valvojana toimi Professori Sanna Syri Aalto-yliopiston Konetekniikan laitokselta. Sannaa haluan erityisesti kiittää käytännön järjestelyistä, jotka mahdollistivat minulle diplomityön teon osana Energiatehokkuus ja –järjestelmät tutkimusryhmää Konetekniikan laitoksella. Koko tutkimusryhmää haluan kiittää positiivisesta ilmapiiristä ja kannustavista sanoista, jotka auttoivat jaksamaan myös heikommilla hetkillä.

Työn ohjaajana toimi Diplomi-insinööri Sonja Salo, jonka kanssa suoritimme yhteistyössä, tässäkin työssä käsiteltävän, kyselytutkimuksen suomalaisille kaukolämpöyhtiöille. Sonjan ja valvoja Sannan apu oli työtä tehtäessä korvaamatonta ja olen kaikesta saamastani avusta erittäin kiitollinen.

Diplomityö oli myös tutkintoni viimeinen opintosuoritus, joten haluan osoittaa kiitokseni kaikille, joiden kanssa olen tehnyt yhteistyötä opinnoissa ja niiden ulkopuolella. Opintoaika Otaniemessä ylitti hurjimmatkin odotukseni moninkertaisesti.

Espoossa 27.11.2017



Jaakko Kiviluoma

Sisällysluettelo

Tiivistelmä, Abstract

Alkusanat

Sisällysluettelo

Merkinnät ja Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Teoria ja aikaisemman tiedon kuvaus	3
2.1	Kaukolämpöverkko ja –tekniikka	3
2.2	Lämpömarkkinat	6
2.3	Tuotantorakenne	8
2.4	Hinnoittelu	10
2.5	Mittaus ja laskutus	14
2.6	Kysyntäjousto	16
3	Tarkasteltujen kaukolämpöverkkojen nykytila	21
3.1	Saksa	21
3.1.1	Berliini	22
3.1.2	Hampurin	24
3.1.3	Dresden	25
3.2	Puola	26
3.3	Tanska	29
3.3.1	Kööpenhamina	29
3.4	Ruotsi	30
3.4.1	Tukholma	31
3.4.2	Göteborg	31
3.5	Suomi	31
3.6	Yhteenveto	32
4	Kyselytutkimus	33
4.1	Tavoitteet ja menetelmät	33
4.2	Tulokset	34
4.2.1	Etäluettavat mittarit	34
4.2.2	Hinnoittelu	35
4.2.3	Digitaaliset palvelut	37
4.2.4	Kysyntäjousto	40
4.3	Analyysi	43
5	Potentiaali tutkituissa kohteissa	47
5.1	Soveltuvat kohteet	47
5.1.1	Suomi	47
5.1.2	Ruotsi	48
5.1.3	Tanska	49
5.2	Potentiaali epäselvä	49
5.2.1	Suomi	49
5.2.2	Saksa	50
5.2.3	Puola	50
5.3	Soveltumattomat kohteet	51
6	Johtopäätökset	52
	Lähdeluettelo	54
	Liiteluettelo	
	Liitteet	

Merkinnät ja Lyhenteet

BAFA	Saksan kaupankäynti ja vienninvalvontaviranomainen, Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle
CHP	Sähkön ja lämmönyhteistuotanto, combined heat and power
DSM	kysyntäjousto, demand side management
EU	Euroopan Unioni
ET	Energiateollisuus ry
HOB	lämmöntuotantokattila, heat only boiler
P2H	lämmön tuotanto sähkölle, power to heat
REINO	Rakennusten käyttäjät huomioiva esineiden internet (IoT) osana kestäviä energijärjestelmiä –hanke
URE	Puolan energiankäytön sääntelyviranomainen, Urząd Regulacji Energetyki
VRE	vaihteleva uusiutuva energia, variable renewable energy

1 Johdanto

Rakennusten kuluttama lämpöenergia muodostaa merkittävän osan koko maailman energiankulutuksesta. Pienetkin säästöt tästä kokonaismäärästä muodostavat rahallisesti ja energiamäärällisesti kooltaan merkittäviä säästöjä. Perinteinen tapa rakennusten lämmitysenergian kulutuksen pienentämiseksi on ollut kokonaiskulutuksen pienentäminen. Tämä tapa ei kuitenkaan ole ottanut huomioon lämmön kulutuksessa tapahtuvien muutosten haittavaikutuksia.

Näillä haittavaikutuksilla tarkoitetaan lämmön kulutuspiikkien ja –kuoppien vaikutusta energiantuotantojärjestelmään. Tässä työssä tutkimuskohteena ovat kaukolämpöverkot. Kaukolämpöverkoissa kulutuksen vaihtelut vaativat kaukolämmön tuotannolta joustamiskykyä ja nopeasti käyttöön otettavaa lämmön tuotantoa. Perinteisesti tätä joustoa on pidetty kaukolämmön tuotannon ominaispiirteinä.

Tämä diplomityö on tehty osana Innovaatiorahoituskeskus Tekesin rahoittamaa REINO-hanketta. Tässä Rakennusten käyttäjät huomioiva esineiden internet (IoT) osana kestäviä energijärjestelmiä -nimisessä hankkeessa pyritään löytämään uusia tapoja vastata kaukolämmön tuotannon joustotarpeeseen. Hankkeessa muun muassa tehdään mukana olevien yritysten teknisiin ratkaisuihin perustuvia pilottikokeita rakennusten kysyntäjoustosta.

Tässä diplomityössä tavoitteena on selvittää, miten REINO-hankkeessa kehitettävää kaukolämmön kysyntäjoustoa voitaisiin ottaa käyttöön Suomen ja muiden Euroopan maiden kaukolämpöverkoissa. Tavoitteena on siis tuottaa tietoa, joka on hyödyllistä koko REINO-hankkeen tavoitteiden saavuttamiseksi.

Työssä käsitellään sekä rakennusten kysyntäjouston teoreettista mallia, että sen käytännön sovelluksia, jotka voidaan ottaa käyttöön jo lähitulevaisuudessa. Lisäksi käsitellään kaukolämmön hinnoittelua, kaukolämpömarkkinoita ja kysyntäjoustoon liittyviä uusia palveluja. Suomen osalta keskeinen tiedonhankintakeino on kaukolämpöyhtiölle tehty kyselytutkimus ja kaikkien hankkeessa tutkittujen maiden osalta julkistettu tieteellinen tutkimus ja muu julkisesti saatavilla oleva tieto.

Hinnoittelun, markkinoiden ja palveluiden käsittelyllä ja selvittämisellä tavoitteena on tuottaa kysyntäjouston potentiaalia määrittäessä tarvittavaa tietoa. Tämä tarkoittaa esimerkiksi kaukolämmön hinnoittelumallien joustavuuden arviointia, kaukolämpömarkkinoiden tilan selvittämistä ja mahdollisten uusien palveluiden sisällön ja toiminnan analysointia.

Tässä työssä on käytetty lähteinä sekä englanninkielisiä lähteitä että tutkittujen kohdemaiden kielillä saatavilla ollutta materiaalia. Käytetyistä lähteistä suomen-, englannin- ja ruotsinkieliset materiaalit on tulkittu alkuperäisen kielen mukaan. Saksankieliset lähteet on tulkittu osin alkuperäisen kielen ja osin ilmaisten käännöspalveluiden mukaan. Muun kieliset lähteet on tulkittu julkisesti saatavilla olevien ilmaisten käännöspalveluiden mukaan.

Suomen lisäksi tässä työssä käsiteltäviä maita ovat Saksa, Puola, Tanska ja Ruotsi. Kaikissa näissä maissa kaukolämpö on yleisesti käytetty lämmöntuotantomuoto. Kaikissa tässä työssä käsitellyissä maissa kaukolämmön kehittäminen on myös tunnistettu ja tärkeäksi nähty energian käytön ja energiatehokkuuden parannuskohde.

Tässä työssä ei pyritä muodostamaan tarkkaa kokonaiskuvaa kaukolämpöalasta tutkituissa maissa, vaan löytämään kohteita, joissa REINO-hankkeen tavoitteita voitaisiin edistää. Tavoitteena on löytää eri kohteista tärkeimmät rakennusten kysyntäjouaston käyttöönoton esteet, hidasteet ja haasteet. Lisäksi tavoitteena on tunnistaa aihealueita, joiden selvittäminen on tärkeää rakennusten kysyntäjouaston käyttöönottoa suunniteltaessa.

Koska kaukolämpöala koskettaa hyvin monipuolisesti sekä rakennusten taloteknistä hallintaa, että yhteiskunnallista infrastruktuuria, yhden diplomityön puitteissa ei voida pitää tavoitteena lopullisten vastausten saamista tutkimuskysymyksiin. Etenkin, kun rakennusten kysyntäjouastossa on kyse jokaiseen kiinteistöön ja kaukolämpöverkkoon tapauskohtaisesti sovellettavasta teknisestä ratkaisusta. Tässä diplomityössä saatavat tulokset pitää rakennusten kysyntäjouastoa laajennettaessa sovittaa senhetkisiin kriteereihin.

Aluksi tässä diplomityössä katsotaan rakennusten kysyntäjouastoa saatavilla olevan tieteellisen tiedon ja teoreettisten mallien kautta. Lisäksi perehdytään olennaisilta osin kaukolämpön ominaisuuksiin. Sen jälkeen perehdytään tutkittavien kohteiden nykytilaan käytettyjen tutkimusmenetelmien avulla saadun tiedon perusteella. Erityishuomion kohteena on suomalaisille kaukolämpöyhtiöille tehty kyselytutkimus.

Lopuksi saatuja tietoja analysoidaan selvitetyn teorian pohjalta. Analyysin perusteella pyritään muodostamaan kuva kysyntäjouaston käyttöönottomahdollisuuksista ja löytämään aihealueet, joihin tulevaisuudessa tulee kiinnittää huomiota rakennusten kysyntäjouastoa kehitettäessä.

2 Teoria ja aikaisemman tiedon kuvaus

Kaukolämmön käyttö lämmityksessä perustuu sen keskeisiin etuihin muihin lämmitysmuotoihin verrattuna. Toisin sanoen kaukolämmön käyttö kiinteistöjen ja lämpimän käyttöveden lämmittämiseksi ei tiheissäkään kaupunkikeskustoissa ole nykypäivänä pakon sanelemaa. Kiinteistöjen lämmöntarve voidaan täyttää myös muilla lämmitysmuodoilla. Kaukolämmön keskeiset edut nivoutuvat sen teknisiin ominaisuuksiin.

Kaukolämpö ei itsessään viittaa mihinkään lämmitysmuotoon, vaan pelkkään lämmönsiirto-tekniikkaan. Kaukolämmön käyttö mahdollistaa yksittäisten tai useiden lämpöä tuottavien voimalaitosten kytkemisen lukuisiin lämmityskohteisiin. Energiatehokkuuden kannalta etuina ovat keskitetyn tuotannon parempi hyötysuhde sekä mahdollisuus käyttää erilaisia hukkalämmönlähteitä. Energiatehokkuutta vähentävät lämmön siirrossa tapahtuvat häviöt.

Kaukolämmön pääkäyttökohteita on kaksi: rakennusten sisätilojen lämmitys ja lämpimän käyttöveden valmistaminen. Tämän työn kannalta näistä olennaisempi on sisätilojen lämmittäminen ja tarkemmin sen inertia, jota käsitellään kappaleessa 2.6. Kappaleissa 2.1-2.5 käsitellään kaukolämmön tekniikkaa, markkinoita ja liiketoimintaa niiltä osin, kuin tämän diplomityön kannalta on tarpeellista.

2.1 Kaukolämpöverkko ja –tekniikka

Erilaisiin teknisiin periaatteisiin perustuvat kaukolämpöverkot voidaan jakaa neljään eri luokkaan. Tämä yleisin luokitus perustuu eri aikakausilla suosittuihin teknisiin ratkaisuihin, joten niistä puhutaan yleisesti sukupolvina. Tässä esitettävä luokittelu perustuu Fredriksenin ja Wernerin kirjassaan esittämään luokitukseen (Frederiksen ja Werner 2013).

Sukupolvesta riippumatta toimintaperiaatteena on tuottaa lämpöä keskitetysti, siirtää se väliaineeseen ja kuljettaa sen avulla loppukäyttäjälle. Suomessa loppukäyttäjä liittyy verkkoon aina lämmönsiirtimen kautta (ET 2017b), mutta verkkoja, joissa sama vesi kiertää kaukolämpöverkossa ja loppukäyttäjän lämpöpattereissa, esiintyy myös. Yleensä tällainen ratkaisumalli yhdistetään entisen Neuvostoliiton maihin, mutta myös esimerkiksi Tanskassa on tällaisia verkkoja käytössä (Frederiksen ja Werner 2013). (Werner 2017b)

Ensimmäisen sukupolven kaukolämpöverkoissa lämmönsiirtoaineena käytetään vesihöyryä, kun taas seuraavien sukupolvien lämmönsiirtoaineena on vesi. Vesihöyryn pienempi tiheys pakottaa tekemään lämmönsiirtoputkista huomattavan suuret tai nostamaan vesihöyryn painetta. Korkeampi paine vaatii korkeamman lämpötilan, joten ensimmäisen sukupolven kaukolämpöverkkojen heikkous ovat suuret paine- ja lämpöhäviöt verkostossa. Lisäksi kaukolämmön tuotantoon on käytettävä korkea-arvoisempaa lämpöä, joten hukkalämmönlähteiden käyttö on teknisesti haastavaa. (Frederiksen ja Werner 2013)

Heikkouksistaan johtuen ensimmäisen sukupolven kaukolämpöverkot ovat nykyään harvinaisia, mutta niitä on yhä käytössä. Tunnetuimpia kohteita ovat Toronto ja Vancouver (Marinova ym. 2008), New York ja Pariisi (Werner 2017b) sekä Kööpenhamina (HOFOR A/S 2013).

Toisen ja kolmannen sukupolven kaukolämpöverkot ovat käytännössä osa samaa verkostoa, eli vanhempia toisen sukupolven kaukolämpöverkkoja on jatkettu ja peruskorjausten yhteydessä modernisoitu kolmannen sukupolven verkoiksi. Olennaisena erona näiden sukupolvien välillä on verkoston toimintalämpötila. (Frederiksen ja Werner 2013)

Toisen sukupolven verkkojen siirtoputket ovat teräsputkia koteloituna betonikehikon sisälle. Verkoston maksimilämpötila riippuu maksimipaineesta, mutta on silti suurempi kuin 100 °C (H. Lund, Werner, ym. 2014). Näiden putkien eristys on verrattain heikko, joten energiatehokkuusvaatimusten tiukennuttua 1970-luvulla, kehitettiin paremmin toimivia ratkaisuja nopealla tahdilla. (Frederiksen ja Werner 2013)

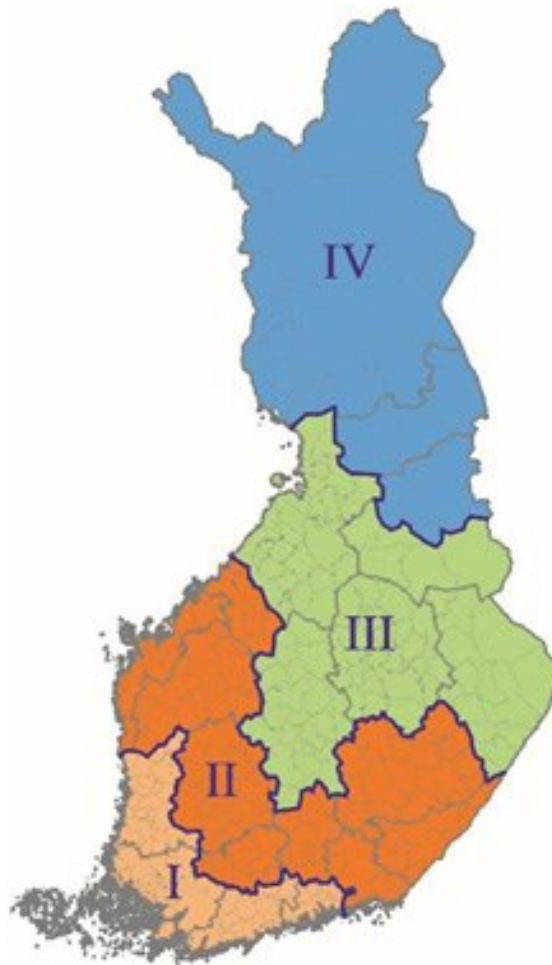
Kolmannen sukupolven verkkojen ominaispiirteeksi, yhdessä parantuneen eristyksen kanssa, muodostui ennakkoon valmistettujen elementtien käyttäminen. Näin yhdessä pienempien lämpöhäviöiden kanssa asennusvirheistä johtuneet viat ja rikkoutumiset saatiin minimoitua, koska maastossa tapahtuva rakennus- ja asennustyö väheni. (Frederiksen ja Werner 2013)

Jo kolmannen sukupolven verkkojen yleistyttyä on verkostojen lämpötiloja pystytty laskemaan, mutta kyse on ollut enemmän jatkuvasta kehittämisestä, ei suuresta muutoksesta. Neljännen sukupolven kaukolämpöverkoissa keskeinen tavoite on entistä matalalämpöarvoisempien hukkalämpökohteiden hyödyntäminen, mikä onnistuu vain verkoston lämpötilaa entisestään laskemalla. Alarajan verkostolämpötilalle muodostaa tällöin lämpimän käyttöveden lämpövaatimus. Vaikka erittäin alhaisia verkosto- ja lämpimän käyttöveden lämpötiloja on tutkittu (Dalla Rosa ja Christensen 2011), käytännössä lämpimän käyttöveden lämpötila tulee olla yli 50 °C (Motiva Oy 2017; STM 2015) merkittävän pilaantumisriskin vuoksi.

Hygieniariskin aiheuttaa lähinnä legionellabakteeri, jonka esiintymistä on, etenkin juomavedessä, hankala estää muutoin kuin riittävän korkealla lämpötilalla. (THL 2017) Erittäin alhaiset kaukolämpöverkon lämpötilat vaativat siis erillisiä lämmittimiä lämpimälle käyttövedelle (H. Lund, Werner, ym. 2014). Nykyisissä verkoissa asia on ratkaistu pitämällä verkoston lämpötila myös kesäaikaan riittävän korkealla.

Kaukolämmön tuotantolaitokset, siirtoverkosto ja lämmönvaihtimet mitoitetaan suurimman laskennallisen kulutuksen mukaan. Rakennusten lämmitystarve määritetään paikallisen ilmaston määräämän mitoituslämpötilan mukaan, jotka Suomessa ovat alueesta riippuen välillä -26 ja -38 °C (FMI 2012). Vastaavat kuukausittaiset keskilämpötilat ovat -4,5 °C, Vantaa helmikuu (FMI 2017b) ja -13,1 °C, Sodankylä tammikuu (FMI 2017a). Luvuista nähdään tämän työn kannalta keskeinen kaukolämmön ominaispiirre: suuri lämmöntuotantokapasiteetin tarve. Mitoituslämpötila ei kuitenkaan tarkoita kylmintä mahdollista ulkolämpötilaa, vaan useamman päivän mittaisen pakkasjakson keskilämpötilaa. Kaukolämmön kannalta tämä tarkoittaa lämmitystarvetta, jota ei voi esimerkiksi kappaleessa 2.6 käsiteltävällä kysyntäjoustolla pienentää.

Kuva 1 näyttää Suomessa käytetyt lämpötila-alueet, joiden mukaan mitoitusulkolämpötila määreytyy. Alueen II mitoituslämpötila on -29 °C ja alueen III -32 °C. (FMI 2012)



Kuva 1 Suomen lämpötilavyöhykkeet

Lämpimän käyttöveden osalta tilanne on erilainen, sillä sen tarve tasoittuu koko verkoston tasolla. Lisäksi loppukäyttäjien vuorokausiyritymistä johtuvia kulutuspiikkejä voidaan tasata kysyntä- ja tuotantojoustopuolella. Kaukolämpöverkon osalta tämä tarkoittaa sitä, että koko verkoston mitoitusvoima on pienempi kuin jokaisen asiakkaan yhteenlaskettu mitoitusvoima.

Koska vaadittu mitoitusvoima on keskimääräiseen voimaan verrattuna hyvin korkea, on yleinen tapa mitoitusvoiman saavuttamiseksi korkea verkostolämpötila. (Gong ja Werner 2015) Tämä tarkoittaa suurempia lämpöhäviöitä ja verkoston mekaanista rasitusta huippukuormien aikana, mutta vähentää investointikustannuksia ja helpottaa riittävän lämpötilan ylläpitoa kessäaikaan. Mitoitus- ja huippulämpötilan valinta onkin tasapainottelua kiinteiden ja muuttuvien kustannusten välillä. (Frederiksen ja Werner 2013)

Edellä mainittu suuri ero keskimääräisen kulutuksen ja huippukulutuksen välillä mahdollistaa energiatehokkuuden parantamisen alhaisemmilla lämpökuormilla. Lämmönvaihtimia ja lämmityspatterikiertoja aktiivisesti säätämällä voidaan toimitetusta kaukolämpövedestä saada enemmän lämpöä hyötykäytettyä. (Lauenburg ja Wollerstrand 2014)

Oleellinen tekijä kaukolämpöverkkojen rakennetta suunniteltaessa ja arvioitaessa on niiden alueellinen luonne. Lämpöenergian siirtäminen suurilla välimatkoilla aiheuttaa liialliset lämpöhäviöt, joten se on tuotettava paikallisesti.

Paikalliseen luonteeseen liittyy läheisesti myös lämmön tuotantovarmuus. Siinä missä sähkötuotannossa yksittäisten tuotantolaitosten alasajot on helppo paikata muilla tuotantolaitoksilla ja reservituotannolla, on kaukolämmön tuotannossa korvaava tuotanto löydyttävä paikallisesta verkosta. Lämpötoimitusten katkaisu ei, etenkin talviaikaan, ole vaihtoehto.

Lisähuomiona todettakoon, että vastoin yleistä käsitystä, sähkönsaannin katkeaminen ei täysin estä kaukolämmön toimittamista loppukäyttäjille. Jos verkoston pääkiertopumpuille on tarjolla varavoimaa, saadaan lämpöä toimitettua huomattavan paljon luonnonkierron varassa. (Lauenburg, Johansson, ja Wollerstrand 2010)

Tässä työssä käsiteltävän rakennusten kysyntäjoustop ymmärtämiseksi tässä kappaleessa esitetyt periaatteet ovat hyvin olennaisia. Jos kaukolämpöverkkojen toimintaperiaatteet eivät ole tuttuja, myös kysyntäjoustop periaatteen ymmärtäminen on haastavaa.

2.2 Lämpömarkkinat

Tässä kappaleessa käsitellään kaukolämpömarkkinaa selkeästi yleisimmän ja vallitsevan markkinarakenteen näkökulmasta, mutta on tärkeä huomata, että kehittyneempiä rakenteita on jo olemassa. Näitä ratkaisumalleja käsitellään osiossa **Error! Reference source not found.**

Analysoitaessa minkä tyyppinen markkina kaukolämpö on, keskeinen tekijä on, kenen näkökulmasta asiaa analysoidaan. Kaukolämpömarkkinassa on selkeitä luonnollisen monopolin piirteitä, mutta sen luokittelu kategorisesti luonnolliseksi monopoliksi olisi selkeä virhe. (Söderholm ja Wårell 2011) Kaukolämpöyhtymät korostavat muiden lämmitysmuotojen aiheuttamaa kilpailutilannetta, kun taas asiakkaat kaukolämpöverkon omistajan määräävää asemaa. Lisäksi nykyisen ja potentiaalisen asiakkaan asema suhteessa kaukolämmöntarjoajaan eroavat toisistaan merkittävästi.

Tärkein luonnollisen monopolin määritelmää tukeva ominaisuus on rinnakkaisten jakeluvierkostojen mahdottomuus. Rinnakkaisten verkkojen rakentaminen on taloudellisesti kestävä, minkä lisäksi on hyvin hankala nähdä alueellisten viranomaisien antavan luvan rakentaa kilpaileva lämpöverkko. Sähkömarkkinoiden esimerkki kuitenkin kiistatta osoittaa, että siirtoverkkojen fyysinen monopoli ei ole kilpailua estävä tekijä, vaan on ratkaistavissa teknisillä ja lainsäädännöllisillä ratkaisuilla. (Söderholm ja Wårell 2011)

Kaukolämpöverkkoon liittyneiden asiakkaiden kannalta tilanne on erittäin rajoitettu. Lyhyellä aikavälillä asiakas on pakotettu hyväksymään lämmönmyyjän määrittämä hinta. Pidemmällä aikavälillä asiakas joutuu luottamaan myyjän lupauksiin ja kilpailuviranomaisien tarkastuksiin hinnoittelun oikeudenmukaisuudesta ja kustannusvastaavuudesta. (Söderholm ja Wårell 2011) Asiakkaan jo tekemät investoinnit laitteisiin ja verkon omistajalle maksamat liittymismaksut ovat kuitenkin tässä tapauksessa kilpailun kannalta merkityksettömiä. Tämä on yleisesti, ja jopa joissain tutkimuksissa, ymmärretty väärin (Åberg, Färling, ja Forsell 2016).

Verkkoon jo liittyneen asiakkaan näkökulmasta vain liittymismaksu takaisinperittävyydellä, mikä on harvinaista, ja lämpölaitteiden jälleenmyyntiarvolla on merkitystä. Muutoin kustannukset ovat uponneita kustannuksia, joilla ei markkinoiden toimivuuden kannalta ole merkitystä. Markkinoiden kannalta oleellista ovat vaihtoehtoihin lämmitysmuotoihin siirtymisen kustannukset ja esteet. Vaihtoehtoisten ratkaisujen investointikustannukset ovat toki

usein niin suuret, ettei korkeakaan kaukolämmön hinta tee siirtymistä kannattavaksi (Song, Li, ja Wallin 2017). Asiakkaan tekemä investointi kaukolämpöliittymään voi siis muodostua kannattamattomaksi, jos lämmön hinta nousee, mutta vaihtoehtoiseen lämmitysmuotoon siirryttäessä hukkaan menevä investointi kaukolämpöliittymään on silti merkityksellinen.

Lämmitysmuotoaan vasta valitsevan tai korjaus- tai korvausinvestointia harkitsevan asiakkaan näkökulmasta korkeilla alkuinvestointikustannuksilla on merkitystä. Koska tällöin suuret hintaerojen muutokset eivät tee lämmitysmuodon vaihtoa kannattavaksi, asiakas joutuu arvioimaan eri lämmitysmuotojen hintakehitystä hyvin pitkälle tulevaisuuteen. Myyjällä on tässä tilanteessa informaatioetu asiakkaaseen nähden, joten esimerkiksi hyvällä myyntityöllä on mahdollisuus saada asiakas valitsemaan vaihtoehto, joka ei ole hänelle kokonaistaloudellisin. Lisäksi asiakas voi antaa investoinnissa painoarvoa myös ei rahallisille tekijöille, kuten kaukolämmön helppoudelle ja toimitusvarmuudelle, maalämmön riippumattomuudelle tai sähkömarkkinoiden avoimuudelle.

Persson ja Werner tekivät tutkimuksessaan havainnon, ettei lämmönsiirron hinnan vaikutuksesta kaukolämmön kilpailukykyyn ole tehty tieteellistä tutkimusta. Artikkelissa todetaan myös, ettei lämmönsiirron hinta ole muissakaan yhteyksissä noussut keskeiseksi kiinnostuskohteeksi. Kuten Persson ja Wernerkin toteavat, lämmön siirtohintu muodostaa kuitenkin sen kriittisen erotuksen, mitä halvempi keskitetyn lämmöntuotannon on oltava hajautettuun verrattuna. Tästä voidaan vetää johtopäätös, että kaukolämmön käyttö lämmitysmuotona on perustunut kaukolämmön tuotannon merkittäviksi katsottuihin etuihin, ei tarkkaan kustannusanalyysiin. (Persson ja Werner 2011)

Kaukolämmön käytön perimmäinen idea on (Frederiksen ja Werner 2013) mukaan ”muuten hukkaan menevien paikallisten lämpö- ja polttoaineresurssien hyödyntäminen paikallisen lämmöntarpeen tyydyttämiseen kaukolämmön avulla”. Frederiksenin ja Wernerin esittämä määritelmä ei kuitenkaan ota kaukolämmön kilpailukykyä huomioon, minkä (Persson ja Werner 2011) tuovat esiin. Kaukolämpö on kuitenkin aina korvattavissa kilpailevalla lämmitysmuodolla, joten kilpailukykyyn ylläpito on kriittistä kaukolämmön olemassaololle. (Grundahl ym. 2016)

Eri lämmitysmuotojen välisen kilpailukykyyn vertailu ei ole tämän työn kannalta keskeistä, mutta muutamia siihen liittyviä huomioita on syytä mainita. Ensimmäisenä voidaan todeta, että lähtökohtaisesti kuluttajien pakottaminen liittymään kaukolämpöön ei ole ratkaisu kilpailukykyyn ylläpitämiseksi. Toiseksi eri lämmitysmuotojen voimasuhteisiin vaikuttavat myös ei-markkinavetoiset tekijät, joten kyse on myös arvoalinnoista eikä pelkästään teknisistä ominaisuuksista. Grundahlin artikkelissa tutkittiin kaukolämmön levinneisyyden vaikutusta siitä saataviin sosioekonomisiin ja taloudellisiin hyötyihin. Lopputuloksena saatiin selville, että yhteiskunnan kannalta korkeampi kaukolämmön levinneisyys oli edullista, mutta taloudellisesti kannattamatonta yksittäisen käyttäjän kannalta. (Grundahl ym. 2016)

Kaukolämpömarkkinoiden rakenne ja toimivuus ovat tämän työn kannalta olennaista sitä kautta, että yleisen markkinakäsityksen mukaan useammat toimijat markkinoilla johtavat suurempaa tehokkuuteen. Kysyntäjoustop käyttöön otossa voidaan tällä perusteella päästä optimaalisimpaan lopputulokseen, kun kaukolämpöverkon alueella kaikki kysyntäjoustop järjestelmiä tarjoavat tahot saavat toimia vapaasti, eikä kaukolämpöyhtiö pyri rajoittamaan niiden toimintaa.

2.3 Tuotantorakenne

Lämmöntuotantotekniikat ovat kehittyneet samaa tahtia kaukolämpöverkkojen kanssa. Varhaisempien sukupolvien verkot vaativat korkeampi-arvoista lämpöä, joten tuotanto on joko keskitettyä lämmöntuotantoa tai sähkön ja lämmön yhteistuotantoa. Uudempien sukupolvien verkoissa verkkoon syötettävän lämmön vaatimukset eivät ole niin kovat, joten potentiaalisten lämmönlähteiden määrä kasvaa. Laajemmat lämmön hyödyntämismahdollisuudet mahdollistavat myös kaukolämmön perimmäisen idean toteuttamisen. (H. Lund, Werner, ym. 2014)

Riippumatta tästä perusideasta, kaukolämpöä on mahdollista tuottaa millä tahansa lämmönlähteellä. Kaukolämpöjärjestelmän sydämenä olevalle lämmönsiirtoverkolle ei ole mitään merkitystä millä tavalla sen lämmönsiirtonesteeseen siirrettävä lämpö on tuotettu. Sama pätee luonnollisesti myös lämmön kulutukseen. Etenkin loppukäyttäjiltä tuotantolaitoksille palaavan paluulämmön sisältämän lämpöenergian hyötykäyttämiseksi on tehty kokeiluja. (Köfinger, Basciotti, ja Schmidt 2017)

Kaukolämmön tuotanto voidaan jakaa useaan tuotantokategoriaan, joiden sisällä erilaiset tekniset ratkaisut ovat mahdollisia. Kategoriat ovat perus-, lisä-, huipputuotanto sekä reservikapasiteetti. Näiden lisäksi lämmön varastointi voidaan katsoa yhdeksi tuotantokategoriaksi, sillä varastoihin ladattava energia on tuotettu edellä mainittuihin kategorioihin kuuluvien menetelmin. Neljännen sukupolven verkkoihin liittyy myös kaukolämpöverkon kaksisuuntaisuus, missä loppukäyttäjä voi toimia myös lämmöntuottajana, jos hänellä on ylituotantoa esimerkiksi aurinkolämmöstä (Paiho ja Reda 2016).

Perustuotannon yleisin tuotantotapa on sähkön ja lämmön yhteistuotanto. Näissä CHP-laitoksissa ajattelumallina on, että ensisijaista on sähkön tuotanto ja muutoin hukkaan menevä lämpö hyödynnetään kaukolämpönä. CHP-tuotannon kilpailukyky on kuitenkin heikentynyt alhaisen sähkön hinnan takia (Nord Pool 2017). Käytännössä yhteistuotannolle epäsuotuisa tilanne näkyy esimerkiksi suunniteltujen voimalaitosprojektien keskeytymisenä (Rovaniemen Voima Oy 2015). Alhaisen keskimääräisen hinnan lisäksi CHP-laitoksille ongelmallista on uusiutuvien sähköntuotantomuotojen, lähinnä aurinko- ja tuulivoiman, aiheuttama tuntihinnan voimakas vaihtelu. CHP-laitos ei parhaassakaan tapauksessa pysty muuttamaan tuotantoaan samassa tahdissa muuttuvien hintojen kanssa. (Åberg, Widén, ja Henning 2012)

CHP-laitosten ylivoimainen energiatehokkuus on yleisesti tunnustettu fakta ja niiden käyttöä energiantuotannossa pidetään erittäin toivottavana. Ongelmana Euroopan Unionin tasolla on kuitenkin se, että suuressa osassa Eurooppa yhdistetty CHP-tuotanto ja kaukolämmön käyttö ovat hyvin kehittymättömiä. (Colmenar-Santos ym. 2015) Tällöin yhteistuotannon edistämiseksi esitetyt toimenpiteet ja olemassa olevien ja toimivien järjestelmien tarpeet eivät kohtaa.

CHP-laitosten rinnalle perustuotantolaitoksiksi ovat tulleet erilaiset lämpöpumppuratkaisut, joissa alhaisten lämpöarvojen lämmönlähteitä, esimerkkinä jätevesi, merivesi tai kaukojäähdytyksen paluuvirta, hyödynnetään kaukolämpönä. (R. Lund, Ilic, ja Trygg 2016) (Helen Oy 2017) Lämpöpumpputuotanto kuluttaa sähköä, joten sen kilpailukyky kiteytyy sähkön markkinahintaan.

Perustuotantolaitosten lämmöntuotanto mitoitetaan niin, että niiden käyttötunnit maksimoidaan, koska määritelmällisesti niiden muuttuvat tuotantokustannukset ovat alhaisimmat. Lisätuotanto on lähtökohtaisesti halvinta mahdollista pelkän lämmön tuotantoa, käytännössä eri polttoaineilla toimivia lämpökattiloita, HOB. Lisätuotanto mitoitetaan Talvikauden keskimääräisen kulutuksen mukaan, eli lämmityskauden käyttötunnit maksimoiden. (Frederiksen ja Werner 2013)

Perus- ja lisätuotannon välinen ero on kuitenkin häilyvä ja alhainen sähkön hinta saattaa tehdä pelkkää lämpöä tuottavien laitosten käyttämisestä kaukolämmön tuottajan kannalta kokonaistaloudellisinta. CHP-laitosten sähköntuotannon osuutta on mahdollista pienentää, mutta silloin lämmön kysyntä ja tuotanto eivät välttämättä kohtaa ja kaukolämmölle allokoitava muuttuva tuotantokustannus saattaa kasvaa. Poikkeuksen tähän dilemmaan tekevät jätevirtoja polttoaineenaan käyttävät tuotantolaitokset, sillä niissä tärkeintä on jätteiden hävittäminen tarkoituksenmukaisimmalla tavalla.

Huipputuotannon periaate on perus- ja lisätuotannolle päinvastainen. Sen käyttö pyritään minimoimaan, joten huipputuotantolaitosten valinta perustuu halvimpaan investointi- ja ylläpitokustannukseen. Lähtökohtaisesti käyttökustannukset ovat vastaavasti korkeat, vaikka myös ne pyritään luonnollisesti minimoimaan.

Kalliin huipputuotannon käytön välttämiseksi on kehitetty erilaisia lämmön varastointitapoja. Yksinkertaisimmillaan lämpö varastoidaan kuumaksi vedeksi lämpöeristettyyn säiliöön. Tässä työssä käsiteltävä kysyntäjousto perustuu myös lämmön varastointiin, mutta se on määritelmällisesti kulutuksen reagointia lämmön kokonaiskysyntään, kun taas isot lämpövarastot tuotannon reagointia. (Paiho ja Reda 2016)

Periaatteellisesti kysyntäjouston käyttöönotossa kyse on suuresta muutoksesta, koska kaukolämmön yhtenä etuna muihin lämmitysmuotoihin verrattuna on pidetty vaivattomuutta ja toimintavarmuutta käyttäjälle. Kaukolämmön käyttäjän ei ole tarvinnut miettiä lämpimän veden riittoisuutta eikä lämmön riittävyyttä kylmimpinä päivinä, koska kaukolämpöyhtiö on varautunut kulutuspiikkeihin. Esimerkiksi maalämpöjärjestelmiin asennetaan kylmimpiä päiviä varten sähkövastus huippulämmönlähteeksi ja lämmin käyttövesi säilötään puskurivarastona toimivaan lämminvesivaraajaan.

Vaikka huipputuotantolaitosten käyttötuntien minimointi on kannattavaa, se ei automaattisesti johda mahdollisuuteen vähentää tuotantolaitosten määrää. Kaukolämmön tuottajan on pystyttävä toimittamaan asiakkaille kaukolämpö keskeytyksettä, etenkin lämmityskaudella, siten etteivät ennakoimattomatkaan vikatilanteet aiheuta pitkiä toimituskatkoja. Tämä on luonnollisesti seurausta siitä, että asuinkiinteistöt muuttuvat asuinkelvottomiksi sisälämpötilan laskiessa alle 18 celsiusasteen (STM 2015). Kaukolämmön myyjällä on kaksi tapaa turvata asuintalojen lämmönoimitukset. Harvinaisempi tapa on soveltuvien asiakkaiden kanssa tehtävät sopimukset lämmönoimitusten rajoittamisesta poikkeustilanteissa. Tällaiset sopimukset ovat hyvin tapauskohtaisia, joten yleisten johtopäätösten tekeminen niistä on hankalaa.

Yleisempi tapa on riittävän reservikapasiteetin ylläpito. Vähimmäisvaatimuksena reservikapasiteetille voidaan pitää niin sanottua n-1 –kapasiteettia. N-1 –reservikapasiteetti tarkoittaa varautumista suurimman mahdollisen yksittäisen lämmöntuotanto- tai lämmönsiirtoyksikön

vikaantumiseen. Esimerkiksi useammasta tuotantoyksiköstä koostuvalta voimalalta lähtevien lämmönsiirtoputkien vikaantuminen saattaa estää suurinta tuotantoyksikköä suuremman lämpömäärän siirtämisen käyttäjille, joten reservikapasiteetin vähimmäismäärän ja sen sijoittelu kaukolämpöverkkoon vaatii huolellista mallintamista. (ET 2015)

Huolellinen mallintaminen on kaukolämpöverkon tehokkuuden kannalta hyödyllistä, sillä tuotantolaitosten optimaalisella sijoittelulla on mahdollista vähentää lämpöhäviöitä ja vähentää huippulaitosten käyttöä. Tämä siis tarkoittaa yksinkertaistetusti sitä, että koko verkoston lämpötilaa ei ole edullista ylläpitää vain suurimmilta voimalaitoksilta, vaan kauimmaisien haarojen lämpötilaa kannattaa ylläpitää lähempänä sijaitsevilla lämpölaitoksilla. (Wang ym. 2015)

Harvinaisempia kaukolämmön lähteitä ovat ydinvoima ja sähkötoimiset lämmityskattilat, P2H-kattilat. Ydinvoimaloiden hukkalämpömäärät ovat hyvin suuria, mutta siihen liittyvien riskien takia voimalat on sijoitettu kauas suuremmista kaupungeista, joten lämmönsiirtohäviöt ovat myös merkittävät. Toinen heikkous on edellä mainittu riski lämmönsiirtoputkien vikaantumisesta.

Sähkötoimiset lämmityskattilat olivat yleinen tuotantotapa Ruotsin kaukolämpöverkoissa 80- ja etenkin 90-luvulla, mutta sähkömarkkinoiden avauduttua ja siirtoyhteyksien parantuttua ylijäämäsiähkön hyödyntämismahdollisuudet ovat laajentuneet. P2H-kattiloiden käyttö onkin vähentynyt selvästi Ruotsissa. (Werner 2017a) Vaihtelevan uusiutuvan energian, VRE, tuotannon kasvaessa P2H-kattiloiden käyttöpotentiaali kasvaa (Kirkerud, Bolkesjø, ja Trømborg 2017). On kuitenkin huomioitava, että yksinkertaisin ohjauslaittein on mahdollista toteuttaa kappaleessa 2.6 käsiteltäviä kysyntäjoustotoimenpiteitä sähkölämmitteisissä ja –jäähdytteisissä rakennuksissa.

Kappaleessa 2.6 käsiteltävän kysyntäjoustopuolelta kaukolämpöverkon tuotantorakenne on tärkeä tekijä, koska rakennusten kysyntäjoustopuolella pyritään laskemaan kaukolämpöverkon tuotantokustannuksia. Kysyntäjoustopuolelta onnistumiseksi verkossa täytyy siis olla myös perustasoa kalliimpaa tuotantoa, jonka käytön välttämällä voidaan saavuttaa rahallista hyötyä.

2.4 Hinnoittelu

Kaukolämmön hinnoittelun arvioinnissa keskeisin kriteeri on hinnoittelun ja kaukolämmön tuotannon välinen vastaavuus. Tällöin lopullisen hinnan määräävien hinnoittelukomponenttien tulisi sekä vastata lämmön tuotannon ja siirron kiinteitä kustannuksia että kasvaa samassa suhteessa muuttuvien kustannusten kanssa. Kustannusvastaavuuden ja asiakkaalle tarjottavan hinnoittelumallin yhteensovittamisessa tulee kuitenkin huomioida myös hinnan määräytymisen ymmärrettävyys. Jos asiakas ei ymmärrä mitkä tekijät ovat keskeisiä hänen maksamansa laskun perusteena, ei hinnoittelu tue kaukolämmön muita periaatteita, kuten energiatehokkuutta. Tässä kappaleessa esitetään kustannusvastaavan hinnoittelun periaatteet, jonka jälkeen niitä verrataan vallitseviin hinnoittelumalleihin.

Perusperiaate kustannusvastaavalle hinnoittelulle on, että kaukolämmön asiakkaan lämmöstä ja kaukolämpöliittymästä maksama hinta koostuu kolmesta pääkomponentista. Liittymismaksu maksetaan kertamaksuna verkkoon liiityttäessä, perusmaksu maksetaan laskutuskautittain vakiosummana kulutuksesta riippumatta ja energiamaksu toteutuneen lämmön kulutuksen mukaan.

Kappaleessa 2.2 käsitellyn kaukolämmön ja muiden lämmitysmuotojen välisen kilpailuasetelman perusteella voidaan katsoa, että uusien ja korjausinvestointia suunnittelevien lämpöasiakkaiden osalta hinnoittelu voi määräytyä markkinaehtoisesti. Kaukolämmön myyjän kannalta tämä tarkoittaa, että uusilta asiakkailta kannattaa periä liittymismaksuna vain välittömät kustannukset marginaalikustannusperiaatteen mukaisesti (Frederiksen ja Werner 2013). Korjausinvestointia suunnittelevan asiakkaan kustannukset liittyvät vain lämmön-siirto- tai tuotantolaitteisiin, joten kyse on suoraviivaisesta tavara- ja palvelukaupasta.

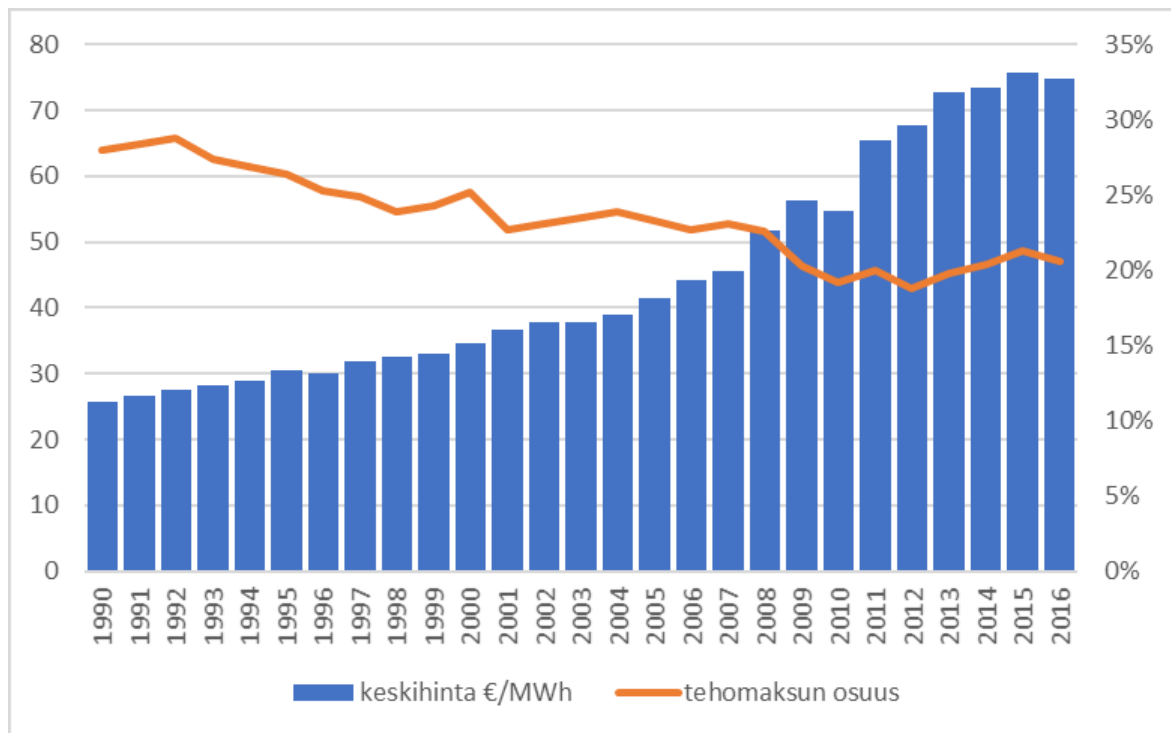
Verkon omistajan harkittavaksi jää, kuinka lähelle yksittäistä asiakasta se rakentaa omistukseensa jäävän runkoverkkoyhteyden, ja mistä asiakkaan liittytäputki alkaa. Runkoverkkoyhteyden rakentaminen vaatii nimensä mukaisesti useita asiakasliittymiä, mutta yksittäiselle asiakkaalle runkoverkkoyhteyden rakentaminen voi olla kannattavaa, jos alueelle on tulossa lisää potentiaalisia asiakkaita esimerkiksi kaupunkirakenteen kehittyessä. Kaukolämmön myyjän kannalta olennaista on siis riskienhallinta siten, ettei vajaakäytölle jääviä verkkoinvestointeja tehdä.

Uusien asiakkaiden liittymismaksu määräytyy ensisijaisesti asiakkaan tarvitseman huipputehon mukaan. Liittymiskynnyksen madaltamiseksi kaukolämpöyhtiö voi tarjota erilaisia suunnittelu- ja asennuspalveluita, mutta niiden ei voida katsoa olevan kiinteä osa kaukolämpöverkkoon liittymistä.

Perusmaksun määräytymisperiaate on liittymismaksun tavoin asiakkaan mitoitusteho. Koska perusmaksu ei riipu asiakkaan todellisesta kulutuksesta, tulisi sen kattaa kaikki kaukolämpöyhtiön kiinteät kulut. Kiinteiksi kuluiksi tulee tässä yhteydessä katsoa kaikki kulut, jotka lankeavat kaukolämpöyhtiön maksettavaksi perusmaksun määräytymiskauden aikana. Looginen määräytymiskausi perusmaksulle on yksi lämmityskausi.

Näitä kiinteitä kuluja ovat muun muassa yhtiön hallinnointikulut, voimalaitosten pakolliset ylläpitokulut sekä investointien rahoituskulut. Koska kaukolämmön tuottajan tulee varautua mitoitustilanteen mukaiseen huippukulutukseen korkealla toimintavarmuudella, kiinteät kulut, ja sitä kautta asiakkaan perusmaksu, muodostavat merkittävän osan asiakkaan kokonaislaskusta.

Kuva 2 näyttää kaukolämmön keskihinnan ja tehomaksun hinnan kehityksen Suomessa. Kuvasta nähdään, että tehomaksun osuus keskimääräisestä hinnasta on laskenut merkittävästi tarkastelujaksolla. Samalla keskihinnan nousutrendi on jyrkentynyt tarkastelujakson aikana.



Kuva 2 Kaukolämmön keskihinta ja tehomaksun osuus hinnasta Suomessa (ET 2017a)

Energiamaksun tulee kattaa jäljelle jäävät lämmön tuotannon ja siirron muuttuvat kustannukset. Koska perus- ja lisätuotannon mitoituksessa on pyritty maksimoimaan käyttötunteja, on optimaalisin tuotantovaihtoehto oletusarvoisesti kallis investoinniltaan, mutta halpa käyttökustannuksiltaan. Näin ollen muuttuvat kustannukset eivät riipu lineaarisesti kulutetusta energiasta, vaan se koostuu useammasta komponentista.

Kaukolämpöverkon lämpöhäviöt katsotaan yleensä riippuvan lineaarisesti siirretystä lämpömäärästä, sillä tarkempi määrittely on huomattavan monimutkaista, eikä sillä ole kokonaishinnan kannalta suurta merkitystä. Verkon energiatehokkuuden ja kaukolämmön kilpailukykyyn kannalta lämpöhäviöiden analysointi on tarpeellista. Myös peruskulutus, eli perus- ja lisätuotannon kapasiteetin sisällä oleva, sekä riittävän tasaisena pysyvä kulutus, riippuu kulutetusta lämmöstä riittävällä tarkkuudella lineaarisesti.

Lyhytaikaiset kulutuspiikit, sekä perus- ja lisätuotannon kapasiteetin ylittävä kulutus vaativat käyttökustannuksiltaan kallista tuotantoa, jolloin tuotetun energian marginaalikustannus nousee hyvin korkeaksi. Koska perinteinen tapa energiamaksun perimiseksi on ollut kiinteä hinta kulutettua yksikköä kohden, ei kaukolämmön käyttäjä ole nähnyt omasta laskustaan näiden kalliiden huippukulutusten merkitystä. Kyse onkin käyttäjän saaman hyödyn ja kokeman kustannuksen epäsuhtaisuudesta. Energiamaksun tulisi määräytyä todellisten tuotantokustannusten mukaan, yksinkertaisimmillaan niin, että hinta on lämmityskaudella korkeampi kuin muuten ja tarkimmillaan niin, että kaukolämmön hinta määräytyy tunneittain kulutuksen ja tuotannon mukaan.

Erilaiset lisämaksut tai hinnanalennukset, joilla verkon toimivuutta pyritään parantamaan, ovat mahdollisia. Tyypillisesti kyse voi olla asiakkaalle tulevan ja lähtevän virtauksen lämpötilaeron, jäähtymän, keskimääräisen vesivirran tai huippukulutuksen seurannasta. Jos siis asiakkaan mitatut arvot ovat normaalia heikommat tai paremmat, voidaan se kompensoida

lislaskulla tai laskuhyvityksellä. Mitattava suure ja kompensatiomenetelmä riippuvat valitusta laskutusmallista ja laatuavoitteesta.

Huippukulutuksen seurannassa on kyse suunniteltujen toiminta-arvojen ja toteutuneiden arvojen kohtaamisesta. Yksinkertaisimmillaan tämä tarkoittaa niin sanottujen tehosyöppöjen löytämistä, mutta myös yhtä lailla ylisuurten mitoitustehojen optimointia. Mitoitustehojen optimoinnilla estetään yli- ja alivarautumista huippukulutuksiin. Huippukulutuksen rajoittamista halutaan välttää, koska rajuimmista kulutuspiikeissä on kyse lämpimän käyttöveden kulutuksesta, mikä tasoittuu koko verkoston tasolla. Todellisia huippukulutuksia määrittäessä mitatut arvot täytyy laskennallisesti korjata ulkolämpötilan perusteella, sillä mitoitustilaa vastaavat pakkasjaksot ovat hyvin harvinaisia.

Energiamaksun laskutuksessa on kaksi erilaista mallia. Toisessa laskutusperusteena on kulutettu energia ja toisessa vesivirta. Kulutettu energia on asiakkaan kannalta selkeämpi vaihtoehto, sillä silloin laskutusperusteena oleva suure vastaa asiakkaan tarvitsemaa lopputuotetta, lämpöä. Tällöin asiakas maksaa vain siitä energiasta, jonka hän todellisuudessa saa käyttöönsä.

Vesivirta on taas kaukolämpöyhtiön kannalta edullisempi, koska silloin asiakkaan vastuulle jää toimitetun kaukolämpöveden ja siten energian tehokas hyödyntäminen. Vesivirtalaskutuksen heikkoutena on kuitenkin sen mukautumattomuus koko verkoston säädölle. Nykyaikaisessa kaukolämpöverkossa verkoston lämpötila ei ole läpi vuoden vakio, vaan sitä säätämällä voidaan pitää virtausmäärät verkostossa optimaalisina ja vähentää lämpimän käyttöveden vaatiman lämpötilan saavuttamiseksi tehtäviä ohjauksutuksia (Gadd ja Werner 2014).

Käytettäessä kulutettua energiaa laskutusperusteena, asiakkaiden laitteiden toimivuutta voidaan seurata sekä vesivirta- ja jäähtymämittaustietoa tarkastelemalla. Asiakkaalle voidaan asettaa esimerkiksi jäähtymälle vähimmäisarvot, jotka sille tulee saavuttaa. Lämmönvaihtimien toimintaa voidaan seurata myös pidemmällä aikavälillä, jolloin keskimääräistä paremmin tai huonommin toimivat laitteet saadaan selvitettyä. Myös laiterikkoja tai muita häiriöitä voidaan huomata samalla seurannalla. (Gadd ja Werner 2014)

Edellä käsitellyt kaukolämmön tuotannon ja siirron kustannuksia seuraavat hinnoitteluperiaatteet eivät toteudu täysin nykyisessä kaukolämmön hinnoittelussa. Kokonaisuudessaan hinnoittelun tulee tulla vastata tuotannon ja siirron kustannuksia, mutta se ei tarkoita, että tulojen ja menojen rakentuminen olisi yhteneväistä. Käytännössä kaukolämpöyritykset enakoivat valitulla hinnoittelumallilla saatavat tulot ja lämmön tuotannosta aiheutuvat kulut, ja jos toteutuneet tulot ja menot eivät kohtaa, tasataan erotus seuraavan vuoden laskutuksessa. (Hailong Li ym. 2015; Björkqvist, Idefeldt, ja Larsson 2010)

Kiinteiden kustannusten osuus kaukolämmön kokonaiskuluista on merkittävä, mistä johtuen kaukolämpöyhtiöt eivät ole kaikissa tapauksissa halunneet laskuttaa niitä asiakkailta täysin kiinteällä hinnalla. Muuttumaton ja alhainen energiamaksu ei kannusta asiakkaita energiatehokkuuteen, joten hinnoittelumalleihin on haluttu lisätä energian säästämiseen kannustavia tekijöitä. (Hailong Li ym. 2015)

Yksi tapa on ollut jakaa kiinteät kustannukset kahteen osaan, jossa hallinto- ja muut yleiset kulut kustannetaan kiinteällä maksukomponentilla ja lämmön tuotannon ja siirron kiinteät

kulut edellisen vuoden kokonaiskulutuksesta riippuvalla komponentilla. (Song, Wallin, ja Li 2017) Tässä työssä käytetyn määritelmän mukaan molempien komponenttien tulisi olla kiinteitä, mutta kustannusvastaavuusperiaatteen vastaisesti kiinteät kustannukset muuttuvat asiakkaan toimien perusteella, eivät kulujen muutosten mukaan. Koska kiinteät tuotanto- ja siirtokustannukset on joka tapauksessa katettava, joutuu kaukolämpöyhtiö korottamaan hintoja, jos asiakkaiden kokonaiskulutus laskee liiaksi.

Toinen tapa on energiamaksun ylihinnoittelu, millä on kaksi tärkeää syytä. Ensimmäiseksi talven huippukulutustuntien kalliit tuotantokustannukset tulee saada katettua ja toiseksi voidaan energiantuotannon kiinteitä kustannuksia kattaa myös energiamaksulla. Mittaustekniikoiden ollessa kehittymätöntä, ovat kaukolämpöyhtiöt olleet pakotettuja tähän, mutta kappaleessa 2.5 tuodaan esiin, että nykytekniikka mahdollistaa kustannusvastaavamman hinnoittelun. Yleisenä periaatteena voidaan kuitenkin pitää sitä, että asiakkaalla on halutessaan oltava mahdollisuus tietää lämmön hinta etukäteen. Aktiivisille asiakkaille myös toteutuneiden kustannusten kautta tapahtuva hinnoittelu on kuitenkin kannatettavaa.

Kaukolämmön hinnoittelumalleja uudistettaessa keskeisenä tavoitteena tulee olla asiakkaiden kannustaminen koko kaukolämpöverkon kannalta hyödyllisiin toimenpiteisiin. Kysyntäjouaston näkökulmasta näitä pohditaan kappaleessa 2.6, mutta yleisten periaatteiden osalta voidaan tehdä muutamia huomioita. Koska perinteiset hinnoittelumallit eivät ole rankaisseet käyttäjiä verkon kannalta epäedullisesta kulutuksesta, uudistetut hinnoittelumallit saattavat aiheuttaa radikaaleja muutoksia asiakkaiden maksamaan kokonaishintaan (Song, Wallin, ja Li 2017). Kuitenkin esimerkitapauksessa tärkeimmäksi lähtökohdaksi mainitaan, ettei asiakkaan maksama kokonaishinta saa muuttua merkittävästi (Korjus 2016). Alkuvaiheen tavoitteena tämä on kannatettava, mutta pidemmällä aikavälillä on selvää, ettei hinnoittelumallien muutoksella saada muita tavoiteltavia vaikutuksia toteutettua, jos asiakkaille ei muodostu hinnanmuutospainetta.

Kilpailuviranomaiset valvovat kaukolämmön hinnoittelua ylisuurten hintojen osalta (Karjanlahti 2012), mutta sitä tarkempien valvonta- ja sääntelymekanismien osalta on suuria eroja eri maiden välillä. Suomessa kaukolämpöalan käytännöt perustuvat alan itsesääntelyyn, eli Energiateollisuus ry:n antamiin suosituksiin ja ohjeisiin, kun taas Ruotsissa ja etenkin Tanskassa kaukolämpöalaa säädellään erillisellä lainsäädännöllä (Werner 2017a; Frederiksen ja Werner 2013). Saksassa tehokkaan ja toivotulla tavalla toimivan sääntelyjärjestelmän tarve on tunnistettu (Wissner 2014).

Kaukolämmön hinnoittelu on tämän työn tavoitteiden kannalta keskeistä, koska sen avulla asiakkaiden kulutustottumuksiin voidaan vaikuttaa. Hinnoittelua myös säännellään viranomaisten toimesta, joten kaukolämpöyhtiö ja asiakas eivät voi vapaasti sopia hintaa keskenään, vaikka molemmat osapuolet näin haluaisivat. Esimerkki tällaisesta tilanteesta on kysyntäjouaston käyttöönotto.

2.5 Mittaus ja laskutus

Perinteinen kaukolämmön mittaustapa on ollut yhteneväinen sähkön kulutuksen mittauksen kanssa. Mittarin lukema on täytynyt käydä fyysisesti lukemassa asiakkaan lämmönvaihtimella ja toimittaa sieltä kaukolämpöyhtiölle. Yleensä tämä on ollut asiakkaan vastuulla toteuttaa ja kaukolämpöyhtiö on aktivoitunut vasta, jos lukemia ei ole toimitettu. Tällainen luentatapa on tarkoittanut, että asiakkaiden laskutus on täytynyt perustua ennusteisiin, joiden virheitä on korjattu tasauslaskulla. Asiakkaalle tilanne on ollut lähtökohtaisesti edullinen,

sillä kaukolämpöyhtiön on kantanut kulujen ja laskujen tasausvastuun, kun asiakas taas on maksanut tasaisena pysyvää kuukausimaksua.

Sähkön kulutuksen etäluennan tapaan myös lämmön kulutustiedot ovat mahdollista etälukea ja toimittaa kaukolämmön myyjälle. Euroopan Unionin energiatehokkuusdirektiivi vaatii uusilta mittareilta vain kulutuksen määrän ja ajankohdan rekisteröintiä, eikä suoranaista vaadetta etäluennalle ole. Direktiivissä kuitenkin vaaditaan sekä toteutuneeseen kulutukseen perustuvaa laskutusta että yksityiskohtaisten kulutustietojen säilytystä vähintään kahden vuoden ajan, jotka ovat helpoiten toteutettavissa etäluennan avulla. (EU 2012)

Energiatehokkuusdirektiivissä laskutusväliksi määrätään kerran vuodessa, sähköisellä laskutuksella kaksi kertaa vuodessa ja asiakkaan halutessa neljä kertaa vuodessa. Suomen energiatehokkuuslaissa laskutus määrätään tapahtumaan neljä kertaa vuodessa. Määrätystä laskutusvälistä voidaan poiketa asiakkaan ja myyjän yhteisellä sopimuksella, kuitenkin niin että kulutustiedot tulee toimittaa määräyksen vaatimusten mukaan. (EU 2012; Suomen Eduskunta 2017)

Energiatehokkuusdirektiivissä määritellään käyttäjäkohtainen lämmön kulutuksen mittaus pakolliseksi, ”jos se on teknisesti mahdollista ja kustannustehokasta”. Jos käyttäjäkohtainen mittaus ei ole kannattavaa, tulee direktiivin mukaan asentaa lämpöpatterikohtaiset mittarit edellä mainituin varauksin. (EU 2012) Esimerkiksi Suomessa molemmat mittaustavat ovat kansallisella tasolla todettu kannattamattomiksi, joten niitä ei ole toteutettu ja mittaus tapahtuu vain kaukolämmönvaihtimella. (Möttönen ym. 2013)

Olemassa olevissa rakennuksissa tarkempi kulutusmittaus ei ole kustannustehokasta, koska lämmönjakojärjestelmä on suunniteltu yksittäisten lämpöputkinousujen ympärille, jolloin yksi putkinousu lämmittää useaa tilaa ja yhtä tilaa useampi putkinousu. Toisaalta niissä lämmöntarve ja siten säästöpotentiaali on suurempi. Uusissa rakennuksissa tilakohtainen lämmönjako on toteutettavissa, mutta samalla niiden huomattavasti parempi lämmöneristys yhdistettynä koneelliseen ilmanvaihtoon pienentää erillisen lämmityksen tarvetta huomattavasti. Tällöin energiansäästöpotentiaali jää liian pieneksi ja mittari-investointi kannattamattomaksi. (Möttönen ym. 2013)

Tilakohtainen lämmön kulutuksen mittaus vaatii toimiakseen erillisen tasausjärjestelmän, sillä eri kohdissa rakennusta olevat tilat kuluttavat lämpöä eri tavalla. Tällöin yksi osapuoli hyötyy toisen osapuolen tiloista siirtyvästä lämmöstä, esimerkkinä kerrostalon kattohuoneisto ja sen alapuolinen huoneisto. Lisäksi järjestelmän tulee estää yksittäisten käyttäjien alilämmitys, jossa muut käyttäjät päätyvät lämmittämään myös alilämmittäjän tilan.

Edellä mainituista syistä kaukolämmön laskutus tapahtuu keskitetysti, eikä yksittäisen asukkaan tai vuokralaisen lämmön ja lämpimän käyttöveden kulutustottumukset näy suoraan hänen maksamassaan laskussa. Lämmönkäyttökohteen omistajat toki päättävät miten lämmityskulut jaetaan, mutta käytännössä tapana on jakaa ne samalla perusteella kuin muutkin yleiset kulut, esimerkiksi neliömäärien mukaan.

Kaukolämmön kulutusmittari mittaa sekä asiakkaan kaukolämmönvaihtimen läpi menevää vesivirtaa että lämpötilan ennen ja jälkeen lämmönvaihtimen. Näiden tietojen avulla saadaan

laskettua kulutettu lämpöenergia. Mittari tallentaa vähintään laskutusperusteena olevan suureen muistiinsa, mutta koska tallennuskapasiteetti ei enää nykypäivänä ole ongelma, voi tallennettavia parametreja olla useampia. (ET 2008)

Etäluennassa oleva mittari lähettää mittaustiedot eteenpäin kaukolämpöyhtiölle, mutta tiedot on mahdollista lähettää myös asiakkaan omaan käyttöön esimerkiksi talotekniikan hallintajärjestelmään. Asiakkaalle suoraan mittarista saatava data ei yleensä ole ilmaista, sillä se vaatii erillisen liitännän mittariin, jotta kaukolämpöyhtiö voi varmistua oman tiedonkeruunsa oikeellisuudesta. Nykyaikaisella tiedonsiirtotekniikalla mittarin on mahdollista lähettää myös muita parametreja eteenpäin, mutta niiden hyödyntäminen on vähäistä. (ET 2008)

Kulutusmittauksen automatisointi ja automaattinen lähetys kaukolämpöyhtiölle on tässä työssä käsiteltävän rakennusten kysyntäjoustoperustuksen perusvaatimus. Mitä tarkemmin kysyntäjoustoperustuksen halutaan vastaavan kaukolämpöverkon tasaustarpeita, sitä useammin ja reaaliaikaisemmin kulutustiedon tulee siirtyä kaukolämpöyhtiölle.

2.6 Kysyntäjousto

Kaukolämmön kysyntäpiikkien esiintymisajankohdat tiedetään ja osataan ennustaa melko hyvin. Myös niiden syntymekanismi osataan selittää, joten selittämätöntä vaihtelua esiintyy melko vähän. Variaation vähäisyys selittyy kaukolämmön siirtoverkkoon sitoutuvan lämmön määrällä. Kaukolämpöverkko ei lämpene tai kylmene hetkessä, sillä siihen syötetty lämpö poistuu vasta veden kulkiessa asiakkaan lämmönvaihtimen läpi. (Frederiksen ja Werner 2013)

Päivätasolla suurin kysyntäpiikki ajoittuu aamuun, jolloin ihmisten aamutoimet, kuten suihkussa käynti, ajoittuvat muutaman tunnin aikaikkunaan. Lisäksi liike- ja toimistokiinteistöissä ilmanvaihtoa tehostetaan ja lämpötilaa mahdollisesti nostetaan. Toinen kysyntäpiikki sijoittuu iltaan ihmisten palatessa työpaikoilta, mutta se on aamupiikkiä pienempi. Yöaikaan kulutus on alhaisimmillaan. (Frederiksen ja Werner 2013)

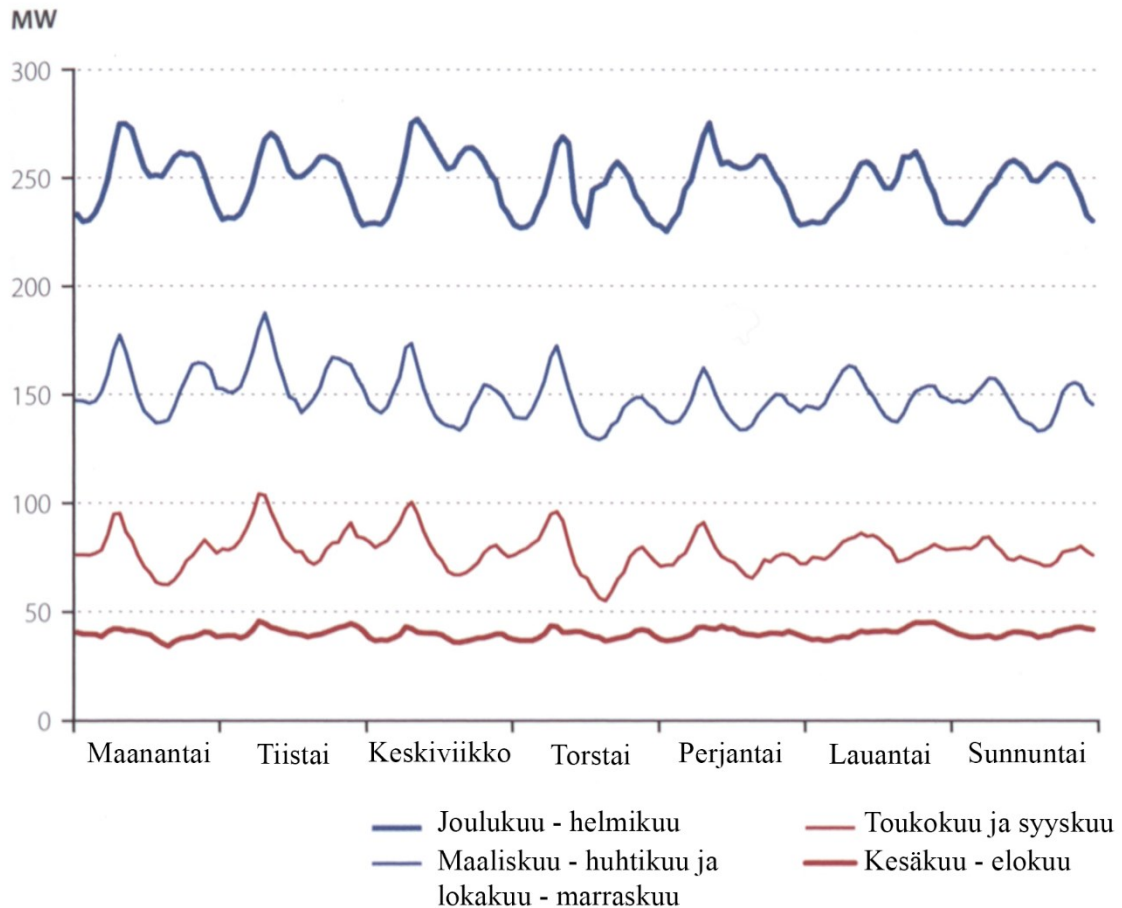
Viikkotasolla arkipäivät ja viikonloppu eroavat toisistaan siten, että viikonloppuna aamu- ja iltapiikki ovat yhtä suuret ja pienemmät kuin arkena. Myös arkipäivien välillä on variaatiota, mutta ne ovat hyvin verkostokohtaisia. Kuukausitasolla kulutuksen vaihtelua aiheuttavat etenkin erilaiset lomakaudet. Esimerkiksi koululaisten talvilomaviikolla työssäkäyviä on vähemmän, joten aamu- ja iltapiikit tasoittuvat toisiinsa nähden. (Frederiksen ja Werner 2013)

Vuositasolla kulutus vaihtelee vuodenaikojen mukaan seuraten lämmityskaudella ulkoilman lämpötilaa. Lämmityskauden ulkopuolella taas kulutus määräytyy lämpimän käyttöveden tarpeen mukaan, eikä siinä juuri esiinny kuukausittaista vaihtelua. Koska sähkölaitteet ja muut hukkalämmönlähteet lämmittävät rakennuksia huomattavasti, kaukolämmön kulutus alkaa korreloida ulkolämpötilan kanssa vasta, kun se laskee noin 15 celsiusasteen alapuolelle. (Frederiksen ja Werner 2013)

Kuva 3 näyttää kaukolämmölle tyypilliset kulutusprofiilit lämmityskaudella ja sen ulkopuolella. Kysyntäjoustopotentiaali löytyy kuvasta keskimääräisestä kulutustasosta eroavien piikkien kohdalta. Keskimääräiseen tasoon ei rakennusten kysyntäjoustoperustolla voida vaikuttaa.

Kaukolämmön tuotannossa kysynnän muutoksia ennustetaan ja niihin reagoidaan ennustetun mukaisesti, jolloin tuotanto pysyy tasaisempana ja huippukuormalaitoksia ei tarvitse

käynnistää turhaan. Koska oikein suunnitellulla tuotantorakenteella kaukolämpöverkon hallinta on toteutettavissa, ei asiakkaiden kulutustottumuksiin ole haluttu puuttua. Lisäksi kaukolämmön hintakilpailukyky ei ole kärsinyt liiaksi, mihin on viime vuosina tullut muutos. Kysyntäjoustopuulla kaukolämmön tuotannossa voidaan saavuttaa säästöjä, kun kysyntäpiikkejä pystytään rajoittamaan. Kysyntäjoustopu käyttö perustuu oletukseen, etteivät pienet sisälämpötilan muutokset huononaa koettua asumismukavuutta merkittävästi.



Kuva 3 Kaukolämmön kulutusprofiilit Helsingborgin kaukolämpöverkossa vuonna 2010 (Frederiksen ja Werner 2013, s. 93)

Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kysyntäjoustopu tai sen hyödyt olisivat yleisesti tunnistettu. Joissain lähteissä sitä ei tunnisteta ollenkaan (Rezaie ja Rosen 2012; H. Lund, Thellufsen, ym. 2014; Harrestrup ja Svendsen 2014) ja joissain se tunnistetaan potentiaalisesti tulevaisuuden menetelmäksi (Sayegh ym. 2017; Hongwei Li ja Wang 2015; Paiho ja Reda 2016). (Kensby, Trüschel, ja Dalenbäck 2015). Ensimmäisen kerran tutkimusta rakennusten kysyntäjoustopuusta on tehty vuonna 2004 Suomessa ja Saksassa (Kärkkäinen ym. 2004). Tuoreempia käytännön kokeita on tehty Ruotsissa (Kensby, Trüschel, ja Dalenbäck 2015) ja laskennallisia tarkasteluja Belgiassa (Vanhoudt ym. 2017).

Artikkelissa (Arteconi, Hewitt, ja Polonara 2013) testattiin sähkölämmitteisen talon lämmitysjärjestelmän soveltuvuutta osaksi sähkömarkkinoiden kysyntäjoustopuuta. Artikkelissa väitetään, ettei rakennusten kysyntäjoustopu onnistu ilman lämminväaraajaa tai muuta lämpövarastoa, mutta oikea ongelma on, että tutkimuksessa lämmitys ei ole päällä koko päivää, vaan

vain ennalta määrättyinä tunteina. (Arteconi, Hewitt, ja Polonara 2013) Tämä täysin kysyntäjoustopotentialia vastaan, jossa lämmitys on lähtökohtaisesti aina päällä ja pois vain, kun energiaverkossa tulee kulutuspiikki.

Tässä työssä kaukolämmön kysyntäjoustopotentialia tarkoitetaan asiakkaan päässä tehtyjä toimenpiteitä, joilla kaukolämpöverkon kulutuspiikkejä pystytään tasaamaan. Kysyntäjoustopotentialia tarkoitetaan siis käytännössä kulutuksen siirtämistä kaukolämmön tuotannon kannalta optimaalisempaan hetkeen. On tärkeää huomata, ettei edellä mainituilla toimenpiteillä pyritä asiakkaiden lämmön kulutuksen vähentämiseen. Kysyntäjoustopotentialia on syytä jakaa kahtia rakennusten lämmityksen ja lämpimän käyttöveden lämmityksen kesken.

Lämpimän käyttöveden osalta kysyntäjoustopotentialia vaatisi loppukäyttäjän aktiivisia toimenpiteitä, sillä kappaleessa 2.1 käsitellyistä syistä lämmintä käyttövettä ei voi jättää lämmittämättä eikä toisaalta vedentuloa katkaista. Näiden lisäksi asiakkaan kokema haitta kasvaisi todennäköisesti merkittävästi, jos lämpimän veden saantia säädeltäisiin. Näin ollen lämpimän käyttöveden osalta kysyntäjoustopotentialia jää pieneksi, eikä sitä käsitellä tässä työssä syvemmin. Aktiivisia käyttäjiä ja lämpimän käyttöveden suurkuluttajia kysyntäjoustopotentialia saattaa kiinnostaa.

Rakennusten lämmityksen osalta kysyntäjoustopotentialia on merkittävä. Koska rakennukset eristetään lämpöhäviöiden vähentämiseksi, rakennukseen pakkautuu merkittävä määrä lämpöenergiaa. Normaalissa käyttölämpötilassa oleva rakennus ei kylmene lämmön katketessa välittömästi, vaan eristyksestä riippuen jäähtyminen kestää useita, jopa kymmeniä, tunteja. Lämmitystä ei tarvitse katkaista kokonaan, vaan rajoittamalla sitä vain osateholle voidaan lämmön kulutusta siirtää useilla tunneilla. Toisaalta rakennusta voidaan myös lämmittää ennakkoon ja antaa jäähtyä kysyntäpiikin aikana.

Edellä mainitut toimenpiteet on mahdollista suorittaa etäohjatusti ilman käyttäjien aktiivista toimintaa. Yksinkertaisempi tapa on rajoittaa lämmitystehoa kaukolämmönvaihtimella, jolloin kiertoveden lämpötila laskee koko patteriverkostossa. Tässä tavassa ongelmalliseksi muodostuu lämmön tasainen jakautuminen, sillä eri osat rakennuksesta jäähtyvät eri nopeudella. Koska normaalissa patteritermostaateissa ei etäohjausmahdollisuutta ole, täytyy virtaamia rajoittaa esimerkiksi lämpöputkinousukohtaisesti tai kysyntäjoustopotentialia rajoittaa rakennuksen kylmimmän tilan mukaan. Lisäksi tulee varmistua siitä, että lämpimän käyttöveden lämmitys katkeaa kysyntäjoustopotentialia vuoksi. (VALOR Partners Oy 2015)

Göteborgin kaukolämpöverkossa tehdyissä kokeissa nämä ongelmat huomattiin myös käytännössä, mutta esteenä kysyntäjoustopotentialia käyttöönotolle ne eivät ole. Testeissä huomattiin, että paremmin eristetyt talot soveltuvat paremmin tämän kaltaiseen säätöön perustuvaan kysyntäjoustopotentialia. (Kensby, Trüschel, ja Dalenbäck 2015)

Toinen tapa on vaihtaa kaikki patteritermostaatit etäohjattaviin malleihin, jolloin kysyntäjoustopotentialia voidaan toteuttaa pitäen haluttu sisäilman taso kaikissa tiloissa. Tällöin asennettavien laitteiden määrä kasvaa ja lämmityksen säätö monimutkaistuu, mikä tulee kompensoida säävutettavilla eduilla. Tässä tavassa on mahdollista ottaa huomioon käyttäjäkohtaiset mieltymykset, jolloin kysyntäjoustopotentialia voidaan maksimoida ja käyttäjän haitta minimoida. Toki lämpimämmän sisäilman ja/tai pienemmän lämpötilanvaihtelun haluavan käyttäjän tulee kompensoida tämä rahallisesti.

Kokonaisuuden kannalta käyttäjäkohtainen kysyntäjousto on toivottavaa myös käyttäjien vastatoimien, eli lisälämmittimillä lämmittämisen ja tuulettamalla viilentämisen, välttämiseksi. Lisälämmittämisen käyttäjä lähtökohtaisesti maksaa itse, mutta erityistapauksena on huomioitava ne käyttäjät, jotka eivät itse maksa sähkölaskuaan. Lämmityskaudella tuulettamista ei oikein voi estääkään, mutta kysyntäjoustokohteissa siihen on kiinnitettävä erityistä huomiota, tarvittaessa esimerkiksi lämpökameratutkimuksin.

Aktiivisten toimien lisäksi kysyntäjouston kanssa yhteneväisiä hyötyjä voidaan myös saavuttaa hinnoittelun keinoin. Ensimmäinen askel kohti kysyntäjouston käyttöönottoa voisikin olla hinnoittelun muuttaminen enemmän tuotantokustannuksia vastaavaksi. Hinnoittelun avulla voidaan vaikuttaa etenkin kausittaisen kulutusvaihtelun aiheuttamiin haasteisiin, joihin rakennusten kysyntäjoustolla, tai käytössä olevilla varastointimenetelmillä, ei voi vastata. (Zhang, Ge, ja Xu 2013)

Hinnoittelu on keskeinen tekijä myös kehittyneemmässä kysyntäjoustoprosessissa, sillä lähtökohtaisesti kyse on kaukolämpöasiakkaiden omistukseen jäävistä investoinneista, joten asiakkaiden on saatava myös rahallista hyötyä tekemäänsä investointia vastaan. Hinnoittelumalleille oleellista on vastaavuus saavutettaviin säästöihin, ei asiakkaiden käytöksen ohjaaminen. Tällöin vältetään kulutus- ja tuotantoprofiilin epäsuhtaisiksi muuttuminen, jos asiakkaiden kulutustottumukset muuttuvat ennakoitua enemmän. (Björkqvist, Idefeldt, ja Larsson 2010)

Asiakkaan kannalta kysyntäjouston käyttöönottoon liittyvät investoinnit ovat sijoituksia, joille tulee saada riittäväksi katsottu tuotto. Näitä tuottoja voivat olla suorien säästöjen lisäksi esimerkiksi asumisviihtyvyyden parantuminen lämmitysjärjestelmän säädön parantuessa tai asunnon arvon nousu. Erilaiset rahoitusmallit voivat alentaa investointikynnystä, mutta perusongelmaa ne eivät ratkaise.

Radikaalein malli kysyntäjoustoprosessiin siirtymiseksi olisi malli, jossa kaukolämpöyhtiö ottaisi kokonaisvastuun rakennuksen lämmittämisestä. Tällöin vain lämpimän käyttöveden laskutus perustuisi kulutukseen ja rakennusten sisätilojen lämmityksessä maksettaisiin vaan määrätystä sisäilmastosta. (Männistö ja Grönberg 2016)

Kysyntäjoustoprosessille ei ole tunnistettu haittoja, jotka aiheutuisivat väistämättä otettaessa käyttöön kysyntäjoustoprosessia. Tunnistettuja haittoja ovat tekijät, jotka aiheutuvat, jos kysyntäjoustoprosessin suunnittelu on ollut riittämätöntä tai se on toteutettu huonosti. Esimerkkejä näistä haitoista ovat esimerkiksi riittämättömät hyödyt kysyntäjoustoprosessista, liian suuri asiakkaalle luvattu kompensatio tai käyttäjien tyytymättömyys kysyntäjoustoprosessin toteutukseen. (VALOR Partners Oy 2015)

Rakennusten kysyntäjoustoprosessin toteutuksessa olennaista on kaikkien rakennuksen käyttäjien osallistuminen kysyntäjoustoprosessin toteutukseen. Rakennusten sisällä lämpö siirtyy tilojen välillä niin tehokkaasti, että jos osa käyttäjistä ei osallistu kysyntäjoustoprosessiin, heidän tiloihinsa tai tiloistansa siirtyvä lämpö vesittää kysyntäjoustoprosessin toiminnan. Asunto-osaakeyhtiöiden tapauksessa tämä tarkoittaa, että kysyntäjoustoprosessin käyttöönotto vaati yhtiökokouksen päätöksen riittävällä enemmistöllä.

Tässä kappaleessa esitetty rakennusten kysyntäjoustoprosessin toteutuskonsepti on teoreettinen, eikä sen mukaisia kaukolämpöjärjestelmiä ole vielä olemassa. Tässä diplomityössä pyritään selvittämään, missä rakennusten kysyntäjoustoprosessia voitaisiin ottaa käyttöön. Tässä kappaleessa

esitetyn kaltaisen kysyntäjoustoratkaisun käyttöönoton aikajänne voisi nopeimmillaan muutamia vuosia, mutta täyteen mittakaavaan ratkaisun kehittäminen vie todennäköisesti reilusti pidempään.

3 Tarkasteltujen kaukolämpöverkkojen nykytila

Tässä osiossa esitellään tässä diplomityössä tutkittavat kohteet maittain. Tiedot kohteista perustuvat kaukolämpöyhtiöiden julkistamiin tietoihin tai muista julkisista lähteistä saatavilla oleviin tietoihin. Koska rakennusten kysyntäjousto on niin uusi konsepti, ei selkeästi siihen keskittyviä tietoja tai tietolähteitä ole saatavilla, vaan tietoja pitää koostaa kysyntäjouston kannalta olennaisista tekijöistä.

Kohteet on valittu tukemaan REINO-hankkeen tavoitteita. Kohteiden valinnassa otettiin huomioon muun muassa kaukolämmön merkitys ja levinneisyys eri maissa sekä, ennakkotietojen perusteella, kohteiden soveltuvuus rakennusten kysyntäjousto.

Ennakkokäsitys oli, että kaikissa valituissa maissa kaukolämpö on tunnistettu keskeiseksi ja ympäristöystävälliseksi tavaksi täyttää kiinteistöjen lämmöntarpeet. Lisäksi ennakkokäsitys oli, että valituissa kohteissa kaukolämpöverkko on aktiivisessa käytössä ja sen kehittämiseen panostetaan.

Taulukko 1 näyttää kaukolämmön osuuden lämmön kulutuksesta tässä työssä tutkituissa maissa. Suoria johtopäätöksiä kysyntäjoustopotentiaalista ei pelkistä kulutuslukemista voi tehdä, sillä kysyntäjouston soveltuvuus on tapauskohtaista yksittäisen maan, kaukolämpöyhtiön ja kaukolämpöverkon tasolla. Esimerkiksi voimakas viranomais sääntely saattaa estää kysyntäjouston tehokkaan käytön.

Taulukko 1 Kaukolämmön osuus lämmön kulutuksesta vuonna 2015

Maa:	Kaukolämmön kulutus, TWh:	Osuus kokonaiskulutuksesta, % (Euroheat & Power 2017a):	Asukasluku (Eurostat 2017):	Kaukolämmön piirissä olevat asukkaat (2012), % (Larsson 2014):
Saksa	115,6 (AGEB 2017)	13,8	82 777 000	12
Puola	60,1 (Euroheat & Power 2017b)	41	38 436 000	41
Ruotsi	48,6 (Werner 2017a)	51	9 975 340	48
Suomi	30,0 (ET 2016)	39	5 502 400	50
Tanska	28,1 (ENS 2015)	64	5 747 000	63

3.1 Saksa

Saksa on Euroopan ylivoimaisesti suurin kaukolämmön käyttäjä, ja vaikka kaukolämmön osuus koko maan lämmönkulutuksesta on alhainen ei sillä tämän työn kannalta ole suurta merkitystä. Tässä työssä tarkasteltavat kaukolämpöverkot ovat kooltaan huomattavia, joten

kaukolämmön paikallisen luonteen vuoksi ne ovat täysin verrattavissa muihin tutkittuihin kaukolämpöverkkoihin.

Etäluettavat mittarit eivät vielä ole Saksassa itsestäänselvyys, sillä energiatehokkuusdirektiivin vaatimukseen etäluennasta on vastattu vuonna 2016 aloitetulla pilottihankkeella ”Energy-Saving Meters”. Virallisessa Euroopan komissiolle toimitetussa raportissa ei anneta tarkkoja lukuja etäluettavien mittarien yleisyydestä. (BMW 2017)

Saksassa ajatus kaukolämpöverkkojen tehokkaasta toiminnasta lähtee sääntelystä. Erilaisia sääntelymalleja onkin tutkittu paljon, koska monopolimarkkinoiden haitat on nähty niin merkittäviksi. (Wissner 2014)

Yksittäisen käyttäjän lämmöstä maksama hinta on haluttu sitoa hänen käyttämänsä lämmön määrään, mikä luonnollisesti vaatii energiatehokkuusdirektiivin mukaista mittausta. Esimerkiksi vuokra-asunnoissa asuvien vuokraan on tapana lisätä erikseen lämpökulut, jotka riippuvat asukkaan kuluttamasta lämmöstä. (BASREC 2014)

3.1.1 Berliini

Berliinin kaukolämpöverkon omistaa Vattenfall. Kaukolämpöverkon piirissä on noin 1,2 miljoonaa asiakasta, joten se muodostaa merkittävän osan Saksan kaukolämmön kulutuksesta. Toisaalta koko Berliinin väestöstä kaukolämpöverkko tavoittaa vain noin 35 prosenttia. Verkon erikoisuutena on, että siinä on useita eri lämpötilatasolla toimivia osia, jotka eroavat toisistaan Itä- ja Länsi-Berliinin välillä. (Vattenfall Saksa 2017a)

Verkon sirpaleisuus näkyy myös hinnoittelussa, sillä asiakkaiden kiinteät kulut riippuvat jäähtymän suuruudesta lämmönvaihtimella ja kokonaiskulutuksen määrästä. Kulutuksesta riippuva hinta koostuu sekä energiamaksusta, että päästömaksusta, joista energiamaksu on hallitseva. Erikoisuutena on erillinen, korkeampi, hinta vain käyttövettä lämmittäville asiakkaille. (Vattenfall Saksa 2017c)

Hinta ei kuitenkaan ole vakio, vaan kiinteä maksu muuttuu vuosittain ja muuttuvat maksut neljännesvuosittain. Nämä hinnat määräytyvät kuuden eri hintaindeksin perusteella ennalta määrätyillä laskukaavoilla. (Vattenfall Saksa 2017f) On kuitenkin tärkeä huomata, ettei kaukolämmön hinta ole kuitenkaan vain näiden määräämä, vaan määrääviin tekijä sille on kuitenkin kaukolämmön pohjahinta.

Perusmaksun muutuskertoimen laskukaava riippuu kahdesta indeksistä: laina- ja investointi-työdykeindeksistä. Molemmat indeksit määrittää Saksan tilastokeskus Destatis. Vuodelle 2017 lopullinen muutoskerroin oli 1,0064 ja vuoden 2015 ollessa perusvuosi lopullinen hinnannousu oli 0,64 %, eli hinnanmuutos oli hyvin pieni. (Vattenfall Saksa 2017f)

$$GPF = 0,35 + 0,35 * L/L_0 + 0,3 * I/I_0 \quad (1)$$

missä GPF on perusmaksun hinnanmuutoskerroin
 L on uusi lainaindeksi
 L_0 on referenssivuoden 2005 lainaindeksi
 I on uusi investointi-indeksi
 I_0 on referenssivuoden 2005 investointi-indeksi

Kaavassa 1 on esitetty perusmaksun muutuskertoimen laskukaava. Lopullinen uusi perusmaksu tästä saadaan kaavalla 2. Kaavoista nähdään, että perusmaksun suuret muutokset vaativat hyvin merkittäviä muutoksia laina- ja investointi-indekseissä. Normaalissa tilanteessa perusmaksu noudattelee valittua perustasoa ja muutokset ovat hillittyjä. (Vattenfall Saksa 2017f)

$$GP_{neu} = GP_{alt} * GPF_{neu}/GPF_{alt} \quad (2)$$

missä GP_{neu} on uusi perusmaksu
 GP_{alt} on edellisen laskutuskauden perusmaksu
 GPF_{neu} on uusi perusmaksun hinnanmuutoskerroin
 GPF_{alt} on edellisen laskutuskauden perusmaksun hinnanmuutoskerroin

Energiamaksun muutoskerroin riippuu käytettyjen polttoaineiden hintaindekseistä, joita Berliinin tapauksessa on kolme. Kivihiilen hintaindeksin määrittelee kaupankäynti ja vienninvalvontaviranomainen, BAFA. Sen merkitys on pienin mainituista indekseistä, vaikka kivi- ja ruskohiilellä tuotetaan yhteensä 43,4 % lämmöntarpeesta ja maakaasulla 47,8 % (Vattenfall Saksa 2017a). Maakaasulle on kaksi indeksiä: sekä normaali hintaindeksi että kuluttajahintaindeksi, jotka määrittää Destatis. (Vattenfall Saksa 2017f)

Hieman yllättäen näistä kolmesta indeksistä suurin painoarvo on maakaasun kuluttajahintaindeksillä (Vattenfall Saksa 2017f). Voidaankin päätellä, että kaukolämmön hinnan halutaan pysyvän kilpailukykyisenä talokohtaista maakaasulämmitystä vastaan, jopa kaukolämmön kannattavuuden kustannuksella. Jos taas maakaasun hinta nousisi voimakkaasti, voidaan olettaa, että sääntelyviranomainen vaatii muuttamaan muutuskertoimen laskukaavaa ylihinnoittelun estämiseksi.

Vuoden 2017 kolmannelle ja neljännelle vuosineljännekselle energiamaksun muutuskertoimet olivat 0,9601 ja 0,9740, joten lopullinen hinnannousu neljännelle kvartaalille oli 1,45 %. Päästömaksu määräytyy hiilidioksidin päästökauppahinnan mukaan, kuitenkin niin että vain osa tulee asiakkaan maksettavaksi, vuonna 2017 40 %. (Vattenfall Saksa 2017f)

$$APF = 0,3 + 0,1 * K/K_0 + 0,25 * EGK/EGK_0 + 0,35 * EGM/EGM_0 \quad (3)$$

missä APF on energiamaksun hinnanmuutoskerroin
 K on kivihiilen uusi hintaindeksi
 K_0 on referenssivuoden 2005 kivihiilen hintaindeksi
 EGK on maakaasun hintaindeksi
 EGK_0 on referenssivuoden 2005 maakaasun hintaindeksi
 EGM on maakaasun kuluttajahintaindeksi
 EGM_0 on referenssivuoden 2005 maakaasun kuluttajahintaindeksi

$$AP_{neu} = AP_{alt} * APF_{neu}/APF_{alt} \quad (4)$$

missä AP_{neu} on uusi energiamaksu
 AP_{alt} on edellisen laskutuskauden energiamaksu
 APF_{neu} on uusi energiamaksun hinnanmuutoskerroin
 APF_{alt} on edellisen laskutuskauden energiamaksun hinnanmuutoskerroin

Kaavassa 3 on esitetty energiamaksun hinnanmuutuskertoimen laskentakaava. Lopullinen energiamaksu saadaan kaavalla 4. Energiamaksun laskentakaavat ovat vastaavanlaiset perusmaksun laskentakaavojen kanssa.

3.1.2 Hampuri

Myös Hampurin kaukolämpöverkon omistaa Vattenfall ja sen kokoluokka on alle puolet Berliinin verkosta. Asiakkaita verkossa on noin 470 000, joka on noin 25 prosenttia kaupungin väkiluvusta. (Vattenfall Saksa 2017e) Hampurin kaukolämpöalan toimijat ovat muodostaneet yhteenliittymän, jonka avulla pyritään edistämään kaukolämmön käyttöä ja kehitystä Hampurissa (Fernwärme-Gemeinschaft Hamburg 2017)

Kaukolämmön kiinteä maksu on Hampurissa vakio kaikille, eikä se muutu liittymän koon kasvaessa. Muuten hinnoittelumalli on yhtenevä Berliinin hinnoittelumallin kanssa. (Vattenfall Saksa 2017d) Kaupunkien väliset eroavaisuudet löytyvät sekä hinnasta, joka on Hampurissa korkeampi, että hinnanmuutuskertoimista.

Hampurissa kiinteän maksun muutoskerroin riippuu voimakkaammin laina- ja kulutushyödykeindekseistä ja vähemmän aiemmasta hinnasta eli käytännössä määrätystä pohjahinnasta. Muutuskertoimet vuosille 2016 ja 2017 olivat 1,1505 ja 1,1604, joten lopullinen hinnannousu vuodelle 2017 oli 0,86 %, eli hyvin pieni. (Vattenfall Saksa 2017g)

Kaavassa 5 on esitetty perusmaksun muutuskertoimen laskukaava. Lopullinen uusi perusmaksu tästä saadaan kaavalla 6. (Vattenfall Saksa 2017g)

$$GPF = 0,1 + 0,4 * L/L_0 + 0,5 * I/I_0 \quad (5)$$

missä GPF on perusmaksun hinnanmuutoskerroin
 L on uusi lainaindeksi
 L_0 on referenssivuoden 2005 lainaindeksi
 I on uusi investointi-indeksi
 I_0 on referenssivuoden 2005 investointi-indeksi

$$GP_{neu} = GP_{alt} * GPF_{neu}/GPF_{alt} \quad (6)$$

missä GP_{neu} on uusi perusmaksu
 GP_{alt} on edellisen laskutuskauden perusmaksu
 GPF_{neu} on uusi perusmaksun hinnanmuutuskerron
 GPF_{alt} on edellisen laskutuskauden perusmaksun hinnanmuutuskerron

Energiamaksun muutuskertoimeen vaikuttaa Hampurissa myös lainaindeksi ja sen merkitys on yhtä suuri kuin kivihiilen hintaindeksin. Merkittävin ero Berliiniin tulee kuitenkin maa-kaasun kuluttajahintaindeksin osalta, jonka merkitys on Hampurissa hyvin pieni. (Vattenfall Saksa 2017g) Onkin hyvin erikoista, että ero on näiden kaupunkien välillä niin suuri.

Energiamaksun muutuskertoimet vuoden 2017 kolmannelle ja neljännelle vuosineljännekselle olivat 1,2233 (Vattenfall Saksa 2017b) ja 1,2024, joten lopullinen hinnanlasku oli 1,7 %. Päästömaksu on luonnollisesti täysin sama kuin Berliinissä. (Vattenfall Saksa 2017d)

Kaavassa 7 on esitetty energiamaksun hinnanmuutuskertoimen laskentakaava. Lopullinen energiamaksu saadaan kaavalla 8.

$$APF = 0,35 + 0,15 * L/L_0 + 0,15 * K/K_0 + 0,3 * EGK/EGK_0 + 0,05 * EGH/EGH_0 \quad (7)$$

missä APF on energiamaksun hinnanmuutoskerroin
 L on uusi lainaindeksi
 L_0 on referenssivuoden 2005 lainaindeksi
 K on kivihiilen uusi hintaindeksi
 K_0 on referenssivuoden 2005 kivihiilen hintaindeksi
 EGK on maakaasun hintaindeksi
 EGK_0 on referenssivuoden 2005 maakaasun hintaindeksi
 EGH on maakaasun kotitaloushintaindeksi
 EGH_0 on referenssivuoden 2005 maakaasun kotitaloushintaindeksi

$$AP_{neu} = AP_{alt} * APF_{neu} / APF_{alt} \quad (8)$$

missä AP_{neu} on uusi energiamaksu
 AP_{alt} on edellisen laskutuskauden energiamaksu
 APF_{neu} on uusi energiamaksun hinnanmuutoskerroin
 APF_{alt} on edellisen laskutuskauden energiamaksun hinnanmuutoskerroin

3.1.3 Dresden

Dresdenin kaupungin alueella kaukolämmön toimituksista vastaa DREWAG - Stadtwerke Dresden GmbH niminen yhtiö. Yhtiön kaukolämpöverkot ovat melko suuret, vuonna 2016 yhteensä 1900 GWh toimitettua kaukolämpöä (DREWAG 2017a), joskin kaupungin kokoon, yli 500 000 asukasta, verrattain pieni. Yhtiö ei ole pelkkä kaukolämpöyhtiö, vaan se toimittaa toiminta-alueellaan asiakkaille myös sähköä, maakaasua ja vettä. (DREWAG 2017d)

Drewagin hinnoittelumalli on vastaava kuin Berliinissä ja Hampurissa, joskin laina- ja investointi-indeksin lisäksi vain maakaasun hintaindeksillä on merkitystä kaukolämmön hinnanmuutokselle. Vattenfallin esitystapaan verrattuna Drewagin materiaali on hyvin teknistä, mutta hinnanmuutuskertoimien merkitys hintaan on erillisessä dokumentissa esitetty huomattavasti avoimemmin. (DREWAG 2017b, 2017c)

$$f_G = 0,24 * L/L_0 + 0,76 * I/I_0 \quad (9)$$

missä f_G on perusmaksun hinnanmuutoskerroin
 L on uusi lainaindeksi
 L_0 on referenssivuoden 2011 lainaindeksi
 I on uusi investointi-indeksi
 I_0 on referenssivuoden 2013 investointi-indeksi

Kaavoissa 9-12 on esitetty Drewagin laskentakaavat perus- ja energiamaksun muutuskertoimille. Kaavoista nähdään, että toisin kuin Vattenfallin kaavoissa, muutuskertoimilla ei ole vakio-osaa, vaan se määräytyy kokonaisuudessaan eri hintaindeksien perusteella. Energiamaksussa myös investointi-indeksillä on merkitystä hinnalle, joten Drewag on lähestynyt

hinnanmäärittystä hieman erilaisella tavalla kuin Vattenfall. Kaikki hintaindeksit määrittää Destatis. (DREWAG 2017b)

$$GP = GP_0 * f_G \quad (10)$$

missä GP on uusi perusmaksu
 GP_0 on valittu alkuperäinen perusmaksu
 f_G on perusmaksun hinnanmuutoskerroin

$$f_A = 0,06 * L/L_0 + 0,2 * I/I_0 + 0,59 * E_{KW}/E_{KW_0} + 0,05 * E_{HH}/E_{HH_0} \quad (11)$$

missä f_A on energiamaksun hinnanmuutoskerroin
 L on uusi lainaindeksi
 L_0 on referenssivuoden 2011 lainaindeksi
 I on uusi investointi-indeksi
 I_0 on referenssivuoden 2013 investointi-indeksi
 E_{KW} on maakaasun hintaindeksi
 E_{KW_0} on referenssivuoden 2013 maakaasun hintaindeksi
 E_{HH} on maakaasun kotitaloushintaindeksi
 E_{HH_0} on referenssivuoden 2013 maakaasun kotitaloushintaindeksi

$$AP = AP_0 * f_A \quad (12)$$

missä AP on uusi energiamaksu
 AP_0 on valittu alkuperäinen energiamaksu
 f_A on energiamaksun hinnanmuutoskerroin

Drewagin kaukolämpöverkko ei ole yksi yhtenäinen verkko, vaan siihen liittyy pääverkon lisäksi seitsemän erillisverkkoa. Erillisverkkojen lisäksi Drewag tarjoaa lämpöpalveluita myös kaukolämpöverkon ulkopuolella oleville kiinteistöille. (DREWAG 2017d)

3.2 Puola

Puola on yhdessä Saksan kanssa Euroopan suurin kaukolämmön kuluttaja, mutta merkittävänä erona saksalaisiin kaukolämpöverkkoihin on puolalaisten verkkojen tekninen taso. Neuvostoliiton ajoilta periytyvien kaukolämpöverkkojen tekninen toteutus on ollut hyvin alkeellinen ja niiden modernisoinnissa on riittänyt ja riittää tehtävää vielä runsaasti. Toisin sanoen Puolassa kaukolämmön kehityksessä on tärkeintä ollut modernisointi suurin askelin, ei jatkuva kehittäminen. (Wojdyga ja Chorzelski 2017)

Suurimmat ongelmat Puolan kaukolämpöverkoissa liittyvät tapaan rakentaa ne ilman talokohtaista lämmönvaihdinta. Talojen lämmitysjärjestelmien kytkeytyessä suoraan kaukolämpöverkkoon on tuotannon ja kulutuksen tasaaminen hankalaa. Lisäksi lämmitysjärjestelmien heikon laadun vuoksi koko kaukolämpöjärjestelmä on altistunut vuodoille, korroosiolle ja muulle kulumiselle. Kokonaisuutena tämä on tarkoittanut, että kaukolämpöverkot ovat olleet ylimitoitettuja suurten lämpöhäviöiden vuoksi. (Wojdyga ja Chorzelski 2017)

Lyhyellä aikavälillä Puolan kaukolämpöalan kriittisin ympäristöteko on kuitenkin paikallisten päästöjen vähentäminen. Keskimääräisillä puolalaisilla tuotantolaitoksilla on vielä mat-

kaa EU:n vaatimiin päästörajoihin, mutta samalla tulee ratkaistavaksi, kannattaako vanhentuviin laitoksiin enää investoida ja mikä olisi mahdollinen korvaava vaihtoehto. (Wojdyga, Chorzelski, ja Rozycka-Wronska 2014)

Toisaalta kaukolämpöverkkojen huono tila tarkoittaa myös sitä, että Puolan kaukolämpöverkoilla on hyvä mahdollisuus yhdistää uusien teknologioiden mahdollistamat uudistukset muutenkin tehtäviin investointeihin. Älykkäiden säätöratkaisujen tarve ja potentiaali onkin tunnistettu myös Puolassa ja ensimmäiset askeleet on otettu. (Wojdyga ja Chorzelski 2017)

Esimerkiksi Puolan kaukolämpöalan toiseksi suurin yksityinen toimija Fortum on investoinut ja on investoimassa monipolttoaine-CHP-laitoksiin verkoissansa (Fortum Oyj 2017). Tämä kertoo, että kaukolämmön kehittämisessä ollaan vasta tuotantotasolla, joten käyttäjiä koskettavat uudistukset, kuten kysyntäjousto, ovat vasta tulossa tulevaisuudessa.

Puolan kaukolämpöalan suuri kehityspotentiaali ja investointitarve on myös tunnistettu muun muassa Pohjoismaissa. (Vähäkangas ja Stelmaszczyk 2017; Larsson 2014) Voidaan sanoa, että luonnollinen jatkumo perinteisen kolmannen sukupolven kaukolämpötekniikan viennille olisi uusien ja kehittyneempien ratkaisujen vienti.

Kaukolämmön hinnoittelu ennakkoon säänneltyä siten, että Puolan kansallinen sääntelyviranomaisen, URE, hyväksyy kaukolämpöyhtiöiden esittämät hinnoittelutariffit, joiden tulee perustua lainsäädäntöön ja muihin viranomaismääräyksiin. Käytännössä tämä tarkoittaa kustannuksiin perustuvaa hinnoittelua, jossa sallitaan järkevä tuotto kaukolämpöyhtiölle. (IEA 2017)

Kaukolämmön energiatehokkuuden sekä paikallisten ja kasvihuonepäästöjen vähentämiseksi Puolassa on käynnissä useita eri hankkeita, joista merkittävä osa on EU-rahoitteisia. (IEA 2017) Toisaalta merkittävät investointitarpeet yhdistettynä parantuvan energiatehokkuuden myötä laskevaan lämmön kokonaiskulutukseen ovat aiheuttaneet huolta kaukolämmön kilpailukykyä muita lämmöntuotantomuotoja vastaan. (BASREC 2014)

Kaukolämmön käyttäjien kannalta voimakas hintasääntely ei ole kovin merkittävä asia, sillä tässä työssä tutkitut hinnoittelumallit ovat yksittäisen käyttäjän kannalta yksinkertaisia, vaikka kokonaisuus onkin melko monimutkainen. Esimerkiksi Fortumin kaukolämpöhinnointelu Puolassa koostuu tehomaksusta sekä energiamaksusta ja kaukolämpöveden hävikkimaksusta. (Fortum Puola 2017a)

Kokonaisuutena Fortumin hinnoittelu on melko monimutkainen johtuen sekä useista eri kaukolämpöasiakasryhmistä että lämmön tuotantolaitosten omistussuhteista. Eri asiakasryhmät jakautuvat maantieteellisen sijainnin, liittymän teknisen toteutuksen ja lämmönsiirtolaitteistojen omistussuhteen mukaan, mutta hinnoittelumalli on kaukolämpöverkoittain aina samanlainen. (Fortum Puola 2017a)

Wroclawin kaukolämpöverkossa lämmön tuotannosta vastaa Kogeneracja S.A. ja Plockin kaukolämpöverkossa PLN Orlen S.A. Näissä kaupungeissa Fortum laskuttaa vain lämmön siirtokustannukset. Częstochowan kaupungissa Fortumilla on 2010 valmistunut CHP-laitos, mutta kaukolämpöverkossa on myös muita tuottajia, joten myös pelkälle lämmön siirrolle on määritelty oma hinta. Zabrze ja Bytomin kaupungeissa Fortum on sekä kaukolämpöverkon että tuotantolaitosten omistaja. (Fortum Puola 2017a, 2017b)

Viitteellinen kuva Varsovan kaukolämpöverkosta
Veolia Energia Warszawa S.A.



Kuva 4 Varsovan alueen kaukolämpöverkko (Veolia Varsova 2015a)

Edellä mainittujen muiden tuottajien hinnoittelumallit ovat rakenteeltaan Fortumin malleja vastaavat (Kogeneracja 2016; PKN Orlen 2016). Vaikka aiemmin yksittäisen asiakkaan hinnoittelun sanottiin olevan yksinkertaista, on selvää, että tämä yksikertaisuus pitää paikkansa vain, jos asiakas saa oman hintansa ymmärrettävässä muodossa eikä sitä tarvitse etsiä eri yritysten verkkosivuilta ja omatoimisesti yhdistellä omaksi tariffikseen.

Varsovan kaukolämpöverkon omistaa Veolia Energia Warszawa S.A. Myös sen hinnoittelu on edellä kuvatun mukainen, eli hinnoitteluryhmiä on paljon, mutta hinnoittelumalli on käyttäjän kannalta yksinkertainen. (Veolia Varsova 2017) Varsovan kaukolämpöverkossa on menossa modernisointiprojekti, jossa lämpöasiakkaille asennetaan etäluettavat mittarit (Veolia Varsova 2015b).

Varsovan kaukolämpöverkko on hyvin suuri. Se palvelee 19 000 asiakasta kattaen 80 prosenttia kaupungin lämmöntarpeesta. (Veolia Varsova 2015a) Vertailun vuoksi esimerkiksi Helsingin kaukolämpöverkossa on 15 000 asiakasta (ET 2016). Kuva 4 esittää Varsovan kaukolämpöverkon rakenteen pääpiirteissään.

3.3 Tanska

Tanskassa lähestymistapa kaukolämmön kehittämiseen ja sen levinneisyyden kasvattamiseen on ollut sääntelypohjainen. Käytännössä tämä on tarkoittanut sitä, että sääntelyviranomaiset ovat erityisellä lainsäädännöllä määritelleet kaukolämpöalan toimintatapoja. (Werner 2017b) Kyse on siis kuluttajan oikeuksia ja yhteiskunnallisia hyötyjä korostavasta lähestymistavasta.

Tanskassa käytettyjä sääntelykeinoja ovat esimerkiksi kustannusperusteinen hintasääntely ja kaukolämmön liittymispakko (Söderholm ja Wårell 2011). Näiden avulla tehtävä sääntely perustuu kuitenkin tutkittuun tietoon kaukolämmön hyödyistä ja tulevaisuusnäköyksiä. Kaukolämmön optimaalista levinneisyysastetta Tanskassa on tutkittu vuonna 2012 (Münster ym. 2012) ja kustannustehokkaimpia energiatehokkuusinvestointeja Kööpenhaminan kaukolämpöverkossa vuonna 2014 (Harrestrup ja Svendsen 2014).

Kaukolämmölle löydettiin Münsterin ym. tutkimuksessa yleistä kasvupotentiaalia, mutta myös tasapainottava rooli osana koko energiajärjestelmää tilanteissa, joissa sähköstä on joko ylituotantoa tai pulaa. Optimaalisimmaksi energiatehokkuusinvestoinniksi löydettiin lämmöntarvetta pienentävät investoinnit ohi lämmöntuotantolaitosinvestointien.

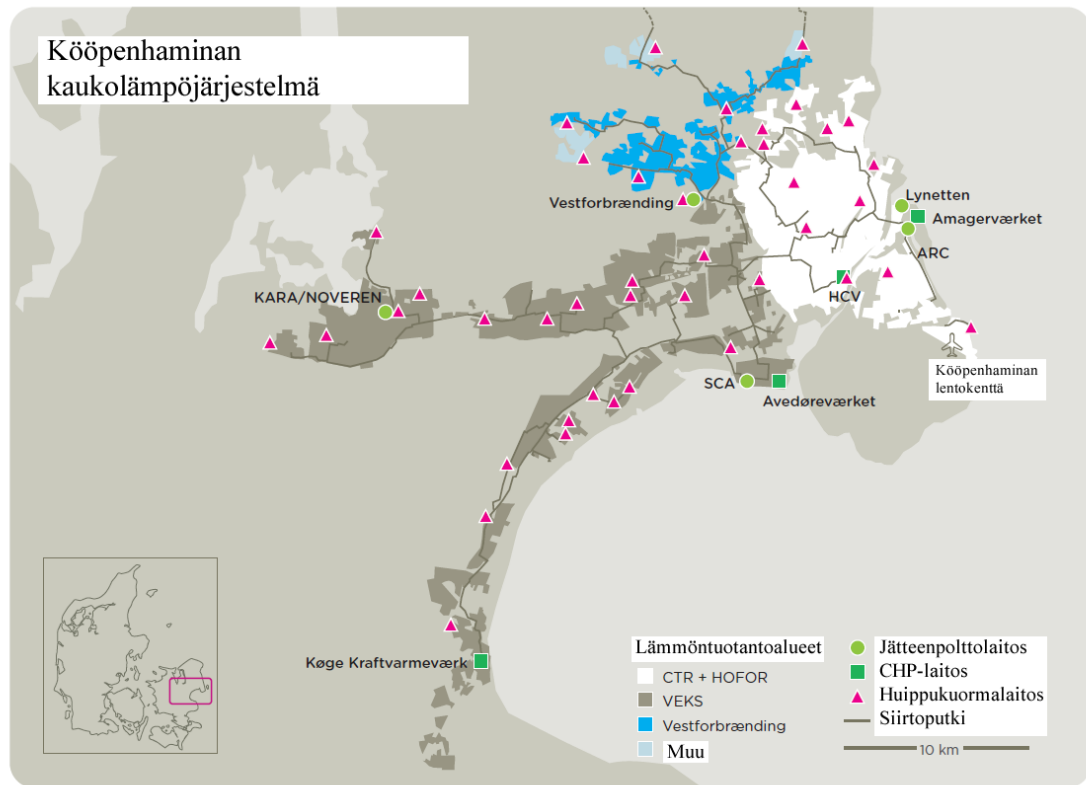
Etäluettavat mittarit löytyvät tällä hetkellä noin puolelta tanskalaisista kaukolämpöasiakkaista. Levinneisyyttä voidaan pitää alhaisena, sillä kaukolämmön mittaamisesta annettu määräys on vuodelta 1997. Energiatehokkuusdirektiivin implementointiraportissa ei kuitenkaan eritellä ajallista tavoitetta vanhojen kulutusmittareiden korvaamiselle. (DEA 2017)

3.3.1 Kööpenhamina

Kööpenhaminan alueen kaukolämpöverkossa on neljä eri verkkoyhtiötä, CTR, VEKS, Vestforbrænding ja HOFOR, jonka verkko on ollut höyrypohjainen, mutta jota muutetaan vesipohjaiseksi (HOFOR A/S 2013). Kaikki alueen yhtiöt ovat joko kunnallisesti tai kaukolämpöasiakkaiden omistamia. Alueella on yhteensä 21 jakeluverkkoa, jota valvovat vastaavasti jokaisen alueen paikalliset viranomaiset. (Ramboll 2017)

Kööpenhaminan alueella on siis periaatteessa 21 eri kaukolämmön hinta-alueita. Mainituista yhtiöistä Vestforbrænding ja HOFOR toimivat niin rajatulla alueella, että niillä on vain yksi hinnoittelumalli, kun taas CTR ja etenkin VEKS toimivat useiden kuntien alueella (HOFOR 2017; VEKS 2017; CTR 2017; Vestforbrænding 2017). Vestforbrændingin ja HOFOR:n hinnoittelumallit ovat perinteisiä perusmaksusta ja energiamaksusta muodostuvia tariffeja.

Kuva 5 näyttää Kööpenhaminan alueen kaukolämpöjärjestelmän peruspiirteissään ja eri kaukolämpöyhtiöiden verkkojen vaikutusalueet. Tarkempi kuva, jossa on listattu kaikki alueen kaukolämpötoimijat, löytyy liitteestä 1 (Ramboll 2009).



Kuva 5 Kööpenhaminan kaukolämpöjärjestelmä (Ramboll 2014)

Alueen moninaisuudesta johtuen alueen kaukolämpöjärjestelmän kehittäminen vaatii erilliset kehitysorganisaatiot, esimerkkinä vuosina 2009-2014 tehty alueen kaukolämpöjärjestelmän pitkän tähtäimen suunnitelma (Varmeplan Hovedstaden 2014). Suunnitelman tavoitteet ovat hyvin kunnianhimoiset (Hedegaard 2014).

3.4 Ruotsi

Myös Ruotsissa kaukolämpöala on ollut hyvin säännelty, mutta toisin kuin Tanskassa, Ruotsissa kehityssuunnaksi on otettu sääntelyn purkaminen. Kustannuspohjaisesta hintasääntelystä luovuttiin jo 90-luvulla ja kaukolämpöverkkojen sääntelyä vapautettiin vuonna 2008 annetulla kaukolämpölailla. Sääntelyä vapautettaessa kaukolämpöyhtiöille määrättiin julkisia raportointivaatimuksia ja asianmukaiset valvontaviranomaiset perustettiin. Vuonna 2014 lakia päivitettiin, jolloin luotiin pelisäännöt kolmansien osapuolien lämmöntuotannolle, kuitenkin avaamatta täysin pääsyä markkinoille. (Werner 2017a)

Ruotsin kaukolämpömarkkinat ovat siis nykypäivänä modernit ja mahdollistavat avoimet ja kilpaillut markkinat. Toisaalta ne myös antavat kaukolämpöyhtiölle mahdollisuuden ylläpitää monopoliasemaansa omassa kaukolämpöverkossaan.

Raportissaan Euroopan komissiolle Ruotsin energiamarkkinaviranomaiset toteavat kaukolämmön osalta vain sen, ettei asunto- tai käyttäjäkohtainen lämmön, lämpimän käyttöveden

tai kaukojäähdytyksen mittaaminen ole kustannustehokasta, joten energiatehokkuusdirektiivin vaatimia mittausjärjestelmiä ei tarvitse asentaa. Asiakaskohtaisesta lämmönkulutuksen mittauksesta ei raportissa puhuta mitään, toisin kuin sähkön ja maakaasun tapauksessa, joten voidaan olettaa, etteivät viranomaiset tältä osin ole asettaneet selkeitä tavoitteita. (Miljö- och energidepartementet 2017)

3.4.1 Tukholma

Tukholman kaukolämpöverkon omistava Fortum on lanseerannut käyttöön avoimen kaukolämpöverkon Open District Heating –tuotenimellä. Järjestelmä toimii siten, että Fortum ilmoittaa etukäteen seuraavalle päivälle hinnat ja lämpötilavaatimuksen eri lämpölajeille. Lämmön myyjän ja Fortumin sopimuksesta riippuen myyjä joko päättää itse, kuinka paljon lämpöä myy, tai Fortum määrittelee vähimmäismäärän, joka myyjän on toimitettava. (Fortum Ruotsi 2017c)

Hinnoittelu on tuntikohtainen ja julkisesti saataville Fortum Ruotsin internetsivuilla (Fortum Ruotsi 2017b). Kaukolämmön asiakkaille tämä näkyy siten, että energiamaksu tippuu noin 60 prosenttia, jos asiakkaan paluuveden lämpötila on alle 50 °C. Energiamaksu laskee tai nousee näistä perushinnoista riippuen paluuveden lämpötilasta. (Fortum Ruotsi 2017a)

Tukholman kaukolämpöverkko on hyvin suuri, sillä Fortum toimittaa vuosittain noin 7280 GWh kaukolämpöä alueen asiakkaille. Lämpötoimitusten piirissä on yli 800 000 asukasta. (Fortum Ruotsi 2017d) Esimerkiksi Suomen pääkaupunkiseudun kaukolämmön kulutus vuonna 2015 oli yhteensä 9325 GWh (ET 2016).

3.4.2 Göteborg

Göteborgin alueen kaukolämpöverkon omistaa kunnallinen energiayhtiö Göteborg Energi AB. Vaikka alueen kaukolämpöverkon kehittämisessä ei ole otettu yhtä radikaaleja askeleita, kuin Tukholmassa, on sielläkin käynnissä useampia kaukolämmön kehityshankkeita. Göteborg Energi tekee myös yhteistyötä Chalmersin teknillisen yliopiston kanssa. (Göteborg Energi AB 2017b; Holm ja Ottosson 2016; Elebo ja Petersson 2013; Kensby, Trüschel, ja Dalenbäck 2015)

Göteborgin alueen kaukolämmön hinnoittelumalli perustuu täysin energiamaksuun, sillä perusmaksua ei peritä ollenkaan. Asiakkaan maksama hinta riippuu alkuinvestoinnista, johon on kolme vaihtoehtoa: ei alkuinvestointia ja kiinteä kuukausimaksu, pienempi alkuinvestointi ja energiamaksu yhtä suuri kuin edellisessä sekä korkeampi alkuinvestointi ja noin 30 prosenttia matalampi energiamaksu. Asiakkaan on mahdollista tehdä myös useamman vuoden mittaisia sopimuksia, joissa hinnat pysyvät vakiona. (Göteborg Energi AB 2017a)

3.5 Suomi

Muihin tässä työssä tarkasteltuihin maihin verrattuna Suomen kaukolämpöalan sääntely on hyvin vapaata. Sääntely painottuu Suomessa jälkeempään tehtävään valvontaan, jossa tarkastellaan etenkin määräävän markkina-aseman väärinkäyttöä sekä kaukolämmön hinnoittelun kustannusvastaavuutta. (Werner 2017b) Suomen kilpailu- ja kuluttajavirasto on tehnyt selvityksiä kaukolämpöalan markkinoiden toimivuudesta ja lainmukaisuudesta ja tullut siihen tulokseen, ettei sääntelyn voimakas tiukentaminen ole tarkoituksenmukaista (Karjanlahti 2012).

Suomen energia-alan sääntelyviranomaisen Energiavirasto keskittyy verkkosivujensa mukaan vain sähkö- ja maakaasumarkkinoiden valvontaan (Energiavirasto 2017b). Energia-alan yritysten etujärjestö Energiateollisuus ry:n sivuilla Suomen lämmitysmarkkinoiden sanotaan olevan ”sääntelemättömät ja kilpaillut”. ET:n verkkosivuilla viitataan lainsäädännön osalta vain ”yleiseen kuluttajasuoja-, kilpailu- ja energiatehokkuuslainsäädäntöön”. (ET 2017e)

Oleellista Suomen kaukolämpömarkkinoiden toimivuudelle on ollut alan itsesääntely, jota ohjaa ET. Alan perusteoksena on ET:n julkaisema Kaukolämmön käsikirja (Koskelainen ym. 2006) ja sen tietoja päivitetään ET:n internetsivuilla julkaistavin ohjein ja suosituksin (ET 2017d). ET myös julkaisee vuosittain kattavat tilastot muun muassa kaukolämmön kulutuksesta, myynnistä ja hinnoista (ET 2016, 2017c).

Viimeisimmän tiedon mukaan kaukolämpöasiakkaista 90 prosenttia on etäluettavien kulutusmittareiden piirissä. Mittaustarkkuus on siis likimain saavuttanut huippunsa Suomessa, koska käyttäjäkohtaisia mittareista ei Suomessa suunnitella asennettavan. (Energiavirasto 2017a)

Koko maan tasolla kaukolämmön kulutus on keskittynyt suurimpien kaupunkien kaukolämpöverkkoihin. 16 suurinta kaukolämmön myyjää myyvät yhteensä 73 prosenttia kaikesta kaukolämmöstä, kun myyjiä on koko Suomessa yhteensä 102. (ET 2016) Kaukolämpöverkkojen omistuksen keskittymistä on Suomessa tapahtunut, mutta kunnallisten ja alueellisten energiayhtiöiden perinne on säilynyt vahvana.

3.6 Yhteenveto

Taulukko 2 esittää hyvin tiivistetysti tässä osiossa esitetyt tiedot. Tarkemmin taulukossa olevat tiedot on esitetty asianomaisissa kappaleissa. Kysyntäjouaston potentiaalia käsitellään osiossa 5.

Taulukko 2 Yhteenveto tutkittujen maiden kaukolämmön tilasta

Maa:	Kulutuksen etäluenta:	Hinnoittelu:	Uudistukset:	Markkinat:
Saksa	Alkuvaiheessa	Hintaindeksit määräävät muutokset	Riippuu kaukolämpöyhtiöstä	Kaukolämmöllä pieni markkinaosuus
Puola	Tulossa Varsovassa	URE vahvistaa hinnat	Tunnistettu maanlaajuinen tarve	Tuotanto ja siirto eriytetty
Tanska	50 % asiakkaista	Paikallinen viranomaisen valvoo	Kunnianhimoiset CO ₂ -päästötavoitteet	Kunnallinen jako ja valvonta
Ruotsi	Ei maanlaajuista tietoa	Yhtiö päättää lainsäädännön rajoissa	Aktiivista tutkimustoimintaa	Avoimet uudistuksille
Suomi	90 % asiakkaista	Yhtiö päättää	ET:n suosituksia seurataan	Yhtiöiden asema vakaa

4 Kyselytutkimus

4.1 Tavoitteet ja menetelmät

Osana REINO-hanketta ja tätä diplomityötä suoritettiin kyselytutkimus suurimmille suomalaisille kaukolämpöyhtiöille. Tämän diplomityön tarpeiden lisäksi kyselytutkimuksen tavoitteena oli tuottaa REINO-hankkeen osapuolien kannalta relevanttia tietoa kaukolämpöalan nykytilasta, kaukolämpöyhtiöiden asenteista, valmiuksista ja tavoitteista. Kyselytutkimuksen kolme pääaihealuetta olivat digitaaliset palvelut, hinnoittelu ja kysyntäjousto, etenkin rakennuksissa.

Tässä yhteydessä digitaalisilla palveluilla tarkoitetaan palveluita, joiden tuottaminen on mahdollista nykyaikaisten tiedonsiirtoyhteyksien, päätelaitteiden ja ohjelmistojen avulla. Vaikka kyse on eräänlaisesta muotitermistä, ei siihen kyselytutkimuksessa haluttu rajoittautua, vaan selvittää tilannetta käsitteen koko laajuudelta.

Haastateltavat yhtiöt valittiin Energiateollisuus ry:n julkaisemien kaukolämpötilastojen (ET 2016) perusteella. Tilastosta valittiin viimeisimmän julkaisuvuoden, vuoden 2015, suurimmat kaukolämpöyhtiöt kaukolämmön kulutuksen perusteella. Haastatteluja pyydettiin 16 suurimmalta kaukolämpöyritykseltä. Lisäksi haastateltiin yhtä pienempää kaukolämpöyritystä. Haastatteluja saatiin suoritettua tämän diplomityön tekijän toimesta yhdeksän kappaletta ja REINO-hankkeen toimesta viisi kappaletta. Valitut ja haastatellut yritykset ja niiden kaukolämmön kulutus vuonna 2015 löytyvät liitteestä 2.

Haastattelut suoritettiin puhelinhaastatteluina, jotka nauhoitettiin kyselyn tulosten analysointia varten. Haastattelu kesti noin 30 minuuttia. Haastattelukysymykset määriteltiin ennakoon, joskin niitä varioitiin haastattelun sujuvoittamiseksi ja haastatteluajan rajoittamiseksi. Haastattelun loppuun varattiin myös aikaa kaukolämpöyhtiöiden vapaille mielteille.

Haastatteluista annettiin sekä haastateltaville että kaukolämpöyhtiöille anonymiteettilupaus, eli vaikka yksittäisten haastattelujen vastaukset ovat tämän työn kirjoittajalla tiedossa, ei niitä tulla julkistamaan. Kaikki haastatteluissa saatu tieto on kuitenkin tämän diplomityön ja REINO-hankkeen käytössä, sillä haastateltaville ilmoitettiin tuloksia käytettävän julkisissa materiaaleissa.

Keskeisimpiä kysymyksiä olivat kaukolämmön kysyntäjoustoon liittyvät kysymykset, mutta koska kysyntäjoustopon käyttöönotto ei ole mahdollista ilman toimivaa digitaalista infrastruktuuria, haluttiin kaukolämpöyhtiöiden tilannetta selvittää myös digitaalisten palveluiden osalta. Ennakko-oletuksena oli, että kaukolämpöyhtiöiden tämän hetken fokus on näiden perusvalmiuksien kehittämisessä, eikä yksittäisten teknisten ratkaisujen edistämisessä.

Hinnoittelu otettiin mukaan kyselytutkimukseen, koska se on keskeinen mekanismi kysyntäjoustopon edistämiseksi ja suoraviivaisiin tapa vaikuttaa kaukolämmön käyttäjien kulutustottumuksiin. Lisäksi selvitettiin etäluettavien kulutusmittareiden levinneisyyttä ja hyödyntämistä.

Digitaalisten palveluiden osalta haluttiin selvittää nykyiset palvelut, tulossa olevat palvelut ja palveluiden käyttöönoton esteet tai hidasteet. Lisäksi kysyttiin kaukolämpöliiketoiminnan

tulevaisuusnäkymistä digitaalisten palveluiden näkökulmasta. Nykyisistä palveluista kysyttäessä keskeistä oli miksi ja milloin näitä palveluita on käyttöön otettu. Tulevien palveluiden osalta lisäksi, minkä tahon aloitteesta niitä oli lähdetty kehittämään.

Kysyntäjoustopuolelta keskityttiin REINO-hankkeen tavoitteiden mukaisesti rakennusten kysyntäjoustopuolelta. Ensimmäisenä haluttiin selvittää kaukolämpöyhtiöiden halukkuus ja tarpeet kysyntäjoustopuolelta. Sen jälkeen kysyttiin, millä tavalla ja kenen kanssa kaukolämpöyhtiöissä asiaa oli pohdittu ja selvitetty sekä millaiseksi näiden pohjalta kysyntäjoustopuolelta potentiaali nähtiin. Näiden jälkeen pyrittiin yksityiskohtaisemmin selvittämään, miten esimerkiksi kysyntäjoustopuolelta siirtyviä asiakkaita voitaisiin palkita, varsinkin rahallisesti, osallistumisestaan tai miten kysyntäjoustopuolelta vaatimat talotekniikkainvestoinnit voidaan kattaa ja rahoittaa.

Myös kysyntäjoustopuolelta kysyttiin siihen siirtymisen esteistä sekä hidasteista ja nämä vastaukset yhdistettiin digitaalisista palveluista saatuihin vastauksiin, jolloin päästiin kyselytutkimuksen alkuperäiseen tavoitteeseen. Vapaa sana osion vastauksia ei johdateltu eikä vaadittu, vaan ne muodostuivat täysin haastateltavien toimesta.

4.2 Tulokset

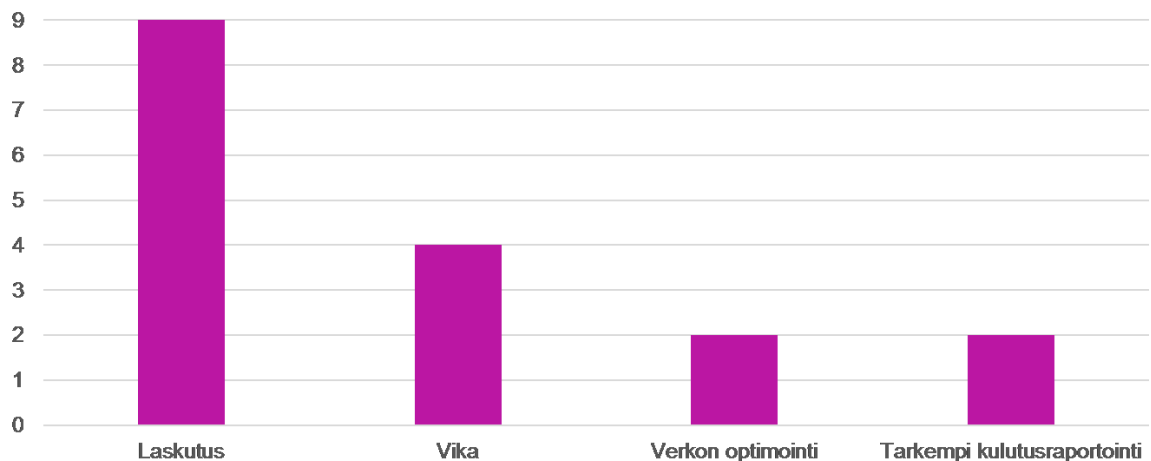
4.2.1 Etäluettavat mittarit

Etäluettavien mittarien puolelta ennakotiedot pitivät paikkansa ja kaikissa haastatelluissa yrityksissä kaukolämmön kulutuksen etäluenta on käytössä käytännössä kaikissa kiinteistöissä. Kohteet, joissa etäluenta ei ole käytössä, ovat kohteita joissa tiedonsiirtoa lämmönjakohuoneesta kaukolämpöyhtiölle ei ole saatu toteutettua kohtuullisin kustannuksin.

Kaikki haastatellut yhtiöt siirtävät mittareilta tulevan kulutusdatan automaattisesti laskutukseen. Mittarin lukematiedot ovat mahdollista lisämaksusta saada myös asiakkaan omaan talotekniikkajärjestelmään. Muissa asioissa etäluettavien mittarien hyödyntämisessä on merkittävää hajontaa.

Yleisin käyttökohteiden etämittareiden datalle oli vianetsintä ja energiatehottomuuden huomauttaminen. Tätä on toki tehty kulutustietojen perusteella manuaalisesti jo pitkään, mutta oleellista on tässä yhteydessä seurannan automatisointi. Täysin reaaliaikaista seuranta ei kuitenkaan kaikissa yhtiöissä ole, vaan tietoja seurataan esimerkiksi viikko- tai kuukausitasolla. Eli järjestelmä hälyttää, jos asiakkaan lämpötilakorjattu kulutus eroaa referenssitasosta.

Muita mainittuja käyttökohteita mittaridatalle olivat kaukolämpöverkon optimointi ja lämpötila- ja lämpöteho- ja lämpöenergian tarkempi kulutusraportointi. Verkon optimoinnissa hyötyä voidaan saada siitä, että kaukolämmön kulutuksesta saadaan tarkempaa tietoa nopeammin, kun mittarit lähettävät dataa tunneittain, tai kun on käytössä tarkempaa tuntikohtaista kulutushistoriaa. Haastatelluissa ei yksityiskohtaisesti tullut esille, millaisella syklillä mittarit lähettävät mittausdataa kaukolämpöyhtiöille. Vastausten perusteella ainakin osa kaukolämpöyhtiöistä kerää dataa mittareista useammin kuin kerran päivässä. Tarkempi kulutusraportointi tarkoittaa sitä, että asiakkaalle tai asiakkaan edustajalle lähetetään sovitulla syklillä kulutustietoja, joita verrataan referenssikulutukseen ja kulutushistoriaan.



Kuva 6 Etäluettavien mittareiden hyödyntäminen

Kuva 6 esittää lukumäärät vastauksista, jotka saatiin kysyttäessä etäluettavien mittareiden hyödyntämistä. Kuten kuvasta nähdään, monissa haastatteluissa vastaukset jäivät hyvin yleiselle tasolle, eikä niistä voida tehdä tarkkoja johtopäätöksiä.

Ennako-odotuksiin nähden etämittareiden käytöstä saadut vastaukset olivat kovin niukkoja, joten vastauksista joudutaan tekemään erilaisia johtopäätöksiä. Helpoin selitys niukkuudelle olisi tietysti, ettei mittaridataa käytetä, mutta tämä vaikuttaa epäuskottavalta, sillä uusien mittareiden asentaminen on vaatinut investointeja kaukolämpöyhtiöiltä, joten miksei tehdystä investoinnista otettaisi kaikkea hyötyä irti, vaikka investointi onkin ollut EU:n energiatehokkuusdirektiivin pakottama. Etenkin kun tässä diplomityössä on selvinnyt, ettei muissa tutkituissa maissa etäluettavia mittareita ole asennettu samassa mittakaavassa, kuin Suomessa.

Toinen selitys on, etteivät kaukolämpöyhtiöt halua tarkemmin avata julkisesti, miten kaukolämpöverkkoja operoidaan. Tämä selitys on erikoinen siltä kantilta, ettei kyselyssä vaadittu eksakteja yksityiskohtiin meneviä vastauksia. Muita syitä voivat olla esimerkiksi tyytyväisyys nykyiseen verkkohallintatapaan tai ettei mahdollisuuksia ylipäänsä ole tunnistettu. Syystä riippumatta tämän kyselyn perusteella etäluettavien mittarien hyödyntämisessä on vielä paljon käyttämätöntä potentiaalia.

4.2.2 Hinnoittelu

Hinnoittelun osalta haastatellut yritykset voidaan jakaa kahteen ryhmään. Toisessa hinnoittelua on kehitetty aktiivisesti ja uusia hinnoittelumalleja on otettu käytäntöön, kun taas toisessa hinnoittelussa on pysytty perinteisessä mallissa sitä tarpeen mukaan kehittäen. Syyt tehtyihin ratkaisuihin eivät kuitenkaan ole näiden ryhmien sisällä yhteneväiset.

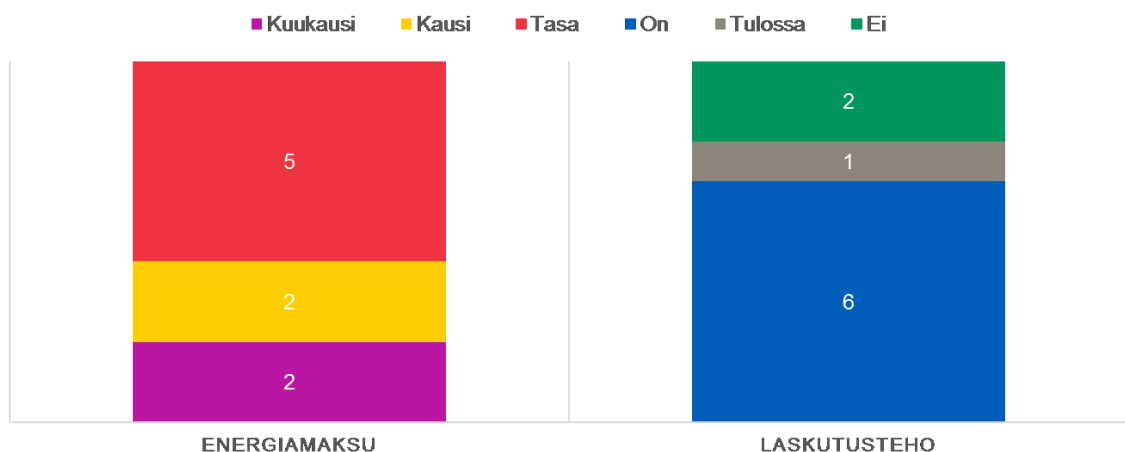
Aktiivista hinnoittelupolitiikkaa tekevissä yhtiössä on huomattu asiakkaiden toivovan monipuolisempia hinnoittelumalleja ja etenkin valinnanvaraa hinnoitteluun. Asiakkaan on helpompaa hyväksyä ja hahmottaa kaukolämmön hinnoittelu, kun hinnoittelu vastaa paremmin kaukolämpöyhtiön muuttuvia kustannuksia ja erilaisista hinnoittelumalleista on hahmotettavissa hinnoitteluriski kaukolämpöyhtiön kannalta.

Käytännössä energiamaksun kausihinnoittelu kertoo selkeämmin asiakkaalle, milloin lämmönkulutuksen on tarpeellista ja milloin ei. Erilaisten hinnoittelumallien kautta asiakas taas hahmottaa paremmin, miksi perusmaksua maksetaan ja miten siihen itse voi vaikuttaa.

Perinteisessä mallissa pysyneillä tuotantorakenne on sellainen, ettei uusiin hinnoittelumalleihin siirtymistä ole katsottu tarpeelliseksi tai tarkoituksenmukaisesti. Joko kaukolämmön hinnan on katsottu olevan jo nyt riittävän edullinen asiakkaalle tai keskimääräinen tuotantokustannus ei lämmityskauden ulkopuolellakaan laske merkittävästi.

Perusmaksun osalta kaikissa haastatteluissa yhtiöissä oli joko siirrytty tai pohdittu siirtymistä mitattuun huipputehoon perustuvaan hinnoitteluun, koska Energiategollisuus ry. on ottanut sen hinnoittelusuositukseksi. Muutos on helpotus etenkin kiinteistöille, joiden huipputehontarve oli määritetty virheellisesti tai kiinteistön energiatehokkuudessa on tapahtunut muutoksia.

Kuva 7 tiivistää saadut vastaukset vallitsevista kaukolämmön hinnoittelumalleista. Energiamaksun osalta jaotteleva tekijä on hinnanmääräytymiskauden pituus, tasahinnoittelussa vuosi. Laskutusteholla tarkoitetaan perusmaksun määräytymistä todellisen kulutuksen mukaan, jos laskutustehoa ei ole käytössä, perusmaksu perustuu mitoitus-tehoon.



Kuva 7 Energiamaksun ja perusmaksun määräytyminen haastatteluissa yhtiöissä

Kaukolämpöyhtiöiltä kysyttiin myös, nähdäänkö niissä ongelmaksi, että kaukolämmön maksaja ja käyttäjä ovat usein eri taho. Useimmiten asiaa ei nähty suoranaisesti ongelmaksi, mutta sen asettamat haasteet kuitenkin tunnistettiin. Muutamissa yhtiöissä kaukolämpöasiakkuuksien kehittäminen oli otettu erityiseksi painopisteeksi ja liki kaikissa etenkin aktiivisten asiakkaiden tarpeisiin pyrittiin vastaamaan.

Suurin este tämän ongelman ratkaisemiseksi oli luonnollisesti tilakohtaisen lämpömittauksen kalleus ja hankala toteuttaminen, joten haastatteluissa asia haluttiin nähdä ratkaisu-, ei ongelmakeskeisesti. Ratkaisuja ovat esimerkiksi keskeisten kumppanin, kuten isännöitsijän ja taloyhtiön hallituksen tapaaminen, yleiset ja avoimet asiakastapaamiset sekä yleisen kaukolämpötietoisuuden parantaminen.

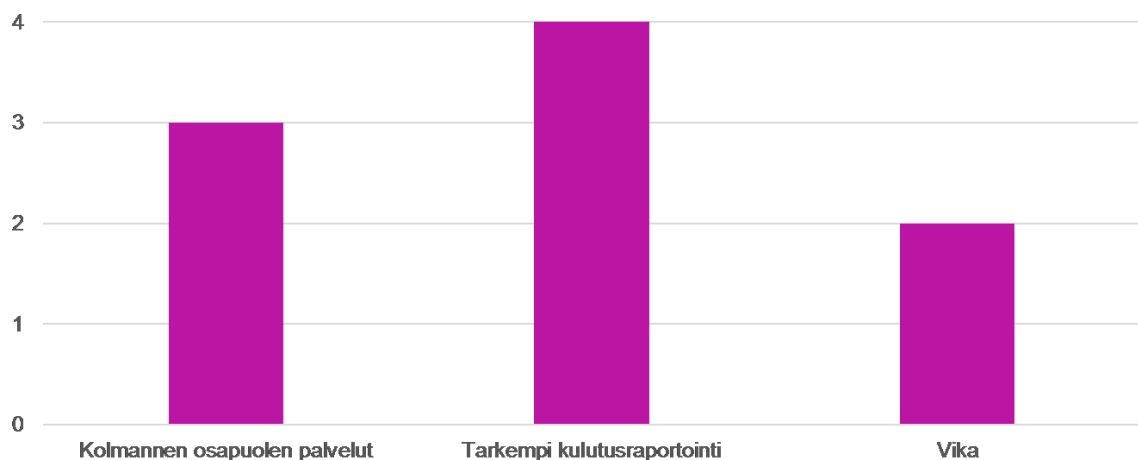
Yksittäisissä haastatteluissa esille tulleita tähän aiheeseen liittyviä ongelmakohtia olivat muun muassa viestintä, esimerkiksi häiriötilanteissa, kaukolämmön käyttäjille yhteystietorekisterin puuttuessa, käyttäjien passiivisuus ja erilaiset tarpeet sekä käyttäjien suuri määrä.

4.2.3 Digitaaliset palvelut

Kaikissa kyselytutkimukseen osallistuneissa kaukolämpöyhtiöissä on käytössä selainpohjainen internet-portaali, josta kaukolämpöasiakkaat voivat seurata kulutustaan ja laskutusta. Portaaliin liitettyjä muita ominaisuuksia voivat olla esimerkiksi yhteystietojen päivittäminen, yhteydenotto kaukolämpöyhtiöön, vikailmoituksen teko tai häiriötiedottaminen ja –seuranta.

Haastatteluissa edellä mainittua asiakasportaalia pidettiin kaukolämpöalan vähimmäisvaatimuksena. Laajemmat digitaaliset palvelut rakentuvat joko portaalin jatkona tai kokonaan uusina palveluina, joissa asiakasportaali jää peruspalveluksi ja mahdollisesti korvautuu myöhemmin uudemmalla järjestelmällä. Useimmissa haastatteluissa korostettiin kuitenkin peruspalveluiden toimivuuden tärkeyttä, eli kaukolämmön ollessa perushyödyke, ei kaukolämpöyhtiöllä ole varaa tinkiä peruspalvelun laadusta. Palvelunäkökulmasta asiakkaan ja kaukolämpöyhtiön välisen kontaktin onnistuminen korostuu, koska niitä tapahtuu verrattain harvoin.

Muita jo käytössä olevia digitaalisia palveluja ovat kappaleessa 4.2.1 mainittu tarkempi kulutusraportointi, vikailmoituspalvelu, kaukolämpölaitteiden kunnonvalvonta ja muut asiakaskäyttöliittymät, lähinnä älypuhelinsovellukset. Lisäksi joillain yhtiöillä on tarjolla jo älykkäitä taloteknisiä säätöjärjestelmiä, jotka toimittaa alihankinta kumppaniyritys, mutta enimmäkseen näitä tarjoavat tällä hetkellä kaukolämpöyhtiöstä erilliset toimijat. Kuva 8 näyttää haastatteluissa saatujen vastausten lukumäärät.



Kuva 8 Haastatteluissa yhtiöissä käyttöönotetut uudet palvelut

Keskeistä näille jo käytössä oleville palveluille oli, että niitä oli lähdetty tarjoamaan selkeästi tunnistetusta tarpeesta, jonka ovat nähneet sekä kaukolämpöyhtiö että asiakas. Uusien palveluiden käyttöönotolle asenne kaukolämpöyhtiöissä on hyvin tarvekeskeinen, eli uusia palveluita ei olla halukkaita tarjoamaan tai kehittämään, jos asiakkaat eivät näe tarvetta esitetylle palvelulle.

Suunnitelmat uusille palveluille ovat hyvin samankaltaisia jo lanseerattujen palveluiden kanssa, lisättyä suunnitelmilla tarjota kaukolämpöyhtiön kautta kolmannen osapuolen tuottamia palveluita, etenkin talotekniikan osalta. Yhtiöiden välillä eroja aiheuttaa enemmänkin se, onko tarve kaukolämmön kehittämiseksi palveluiden osalta tunnistettu, vai pidetäänkö nykyistä kaukolämpöpalvelua riittävänä pääosalle asiakkaista. Kehittämiskohteina nähdään

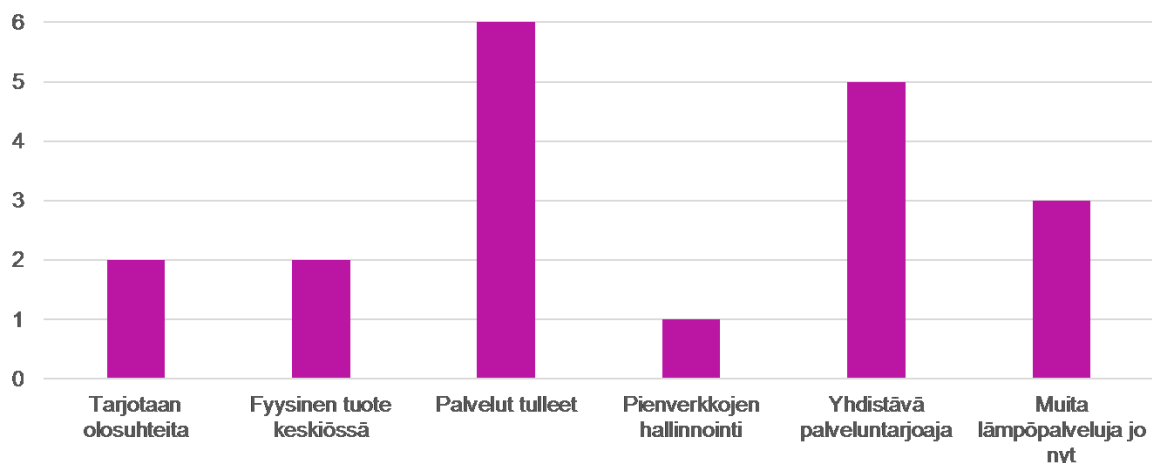
etenkin kaukolämmön ja palveluiden helppokäyttöisyys sekä energiatehokkuus ja sen kautta kaukolämmön hinta asiakkaalle.

Kauemmas tulevaisuuteen katsottaessa yleisin näkemys oli, että erilaiset palvelut ovat lisääntyneet kaukolämpömarkkinoilla merkittävästi. Korostetusti tuotiin kuitenkin esiin, että kaukolämpöliiketoiminnassa itse lämmön myyminen on kuitenkin keskeisintä ja kaukolämpöyhtiö siinä asiantuntija.

Tämä asiantuntijuus nähtiinkin kaukolämpöyhtiöiden kilpailuvalttina ja uusia palveluita edistettävän sen avulla. Käytännössä tämä tarkoittaa kumppaneiden hankkimista ja muuntautumista asiakkaan näkökulmasta enemmän palveluntuottajaksi. Etenkin talotekniikan osalta nähtiin, että jos kaukolämpöyhtiö ei palveluita tarjoa, joku muu tulee niitä joka tapauksessa tarjoamaan.

Myös itse lämmön tuottamisen ja myymisen käsitettä haluttaisiin laajentaa, niin että lopputuotteena olisi käyttäjän kannalta miellyttävä sisäilma, eikä pelkästään lämpöyksikkö. Osalla yhtiöistä oli jo nyt kaukolämmön ulkopuolisia lämpöpalveluita, kuten maa- ja aurinkolämpöä, mutta osa taas halusi keskittyä kaukolämpöliiketoimintaan.

Kuva 9 näyttää haastatteluissa esille tulleiden tulevaisuuden palveluiden vastausten lukumäärät. Koska tulevaisuuden palveluista kysyttiin hyvin avoimella kysymyksenasettelulla, saadut vastaukset olivat hyvin moninaisia. Haastattelua suunniteltaessa pidettiin kuitenkin tärkeämpänä, että kysymykseen on mahdollista vastata monella tavalla, jotta aiheesta saadaan riittävästi vastauksia. Pelkona oli, että liian tiukka kysymyksenasettelu jättää vastaukset pinnallisiksi.



Kuva 9 Haastatteluissa esille tulleita tulevaisuuden palveluita

Digitaalisten palveluiden käyttöönottoa estäviä ja hidastavia tekijöitä kysyttäessä esille nousi ensisijaisesti usko siihen, että nämä tekijät ovat ratkaistavissa, kunhan tarjottavat palvelut ovat riittävän hyviä ja asiakkaille tarpeellisia. Koska palveluiden nähtiin lisääntyvän selkeästi tulevaisuudessa, oli tämä usko odotettavissa. Lisäksi esille nousseet esteet ja hidasteet olivat myös tekijöitä, joihin kaukolämpöyhtiö voi suoraan omalla toiminnallaan vaikuttaa.

Yleisimmäksi esteeksi ja hidasteeksi haastatteluissa nousi kaukolämpöyhtiöiden oman organisaation valmius palveluiden lisäämiselle. Valmiuksia pitää haastattelujen perusteella kehittää osaamisen, asenteiden ja toimintatapojen, resurssien sekä yhteistyökumppanien osalta. Keskeisiä näistä tekee se, ettei palveluiden lisääminen ole mahdollista, jos näitä esteitä ja hidasteita ei ratkaista.

Osaamisen kehittämisen tarkoituksena tässä yhteydessä kaukolämpöyhtiön kykyä kehittää uusia palveluita lopputuotteeksi asti sekä kykyä hyödyntää kaukolämpöyhtiölle uusista palveluista syntyvää dataa. Asenteiden ja toimintatapojen osalta mainittiin, että kaukolämpöyhtiön tulee tarjota asiakkaille yhtenäinen palvelukokemus, jossa kaikissa asiakaskontakteissa edistetään ja hyödynnetään myös uusia palveluita.

Resurssien osalta tilanne on melko suoraviivainen, sillä palveluiden kehittämisen intensiteetti riippuu hyvin paljon resurssien määrästä. Toisaalta resursseja ei lisätä, jos lisäämisestä saatavia hyötyjä ei voida todentaa. Yhteistyökumppanit nostettiin helpoimmaksi tavaksi lisätä kaukolämpöyhtiön osaamista ja resursseja, mutta samalla huomautettiin, että yhteistyökumppaneita ei voi valita sattumanvaraisesti, eikä niitä voi olla useita, vaan läheiseen yhteistyöhön valittavat kumppanit pitää valita huolellisesti.

Muita esteitä ja hidasteita digitaalisten palveluiden osalta olivat asiakkaiden halut ja tarpeet sekä käsitys kaukolämpöyhtiöstä palveluntarjoajana ja uusien palveluiden hinta asiakkaalle ja kaukolämpöyhtiölle sekä niistä saatava hyöty. Näiden tekijöiden ratkaisuksi nostettiin tarjottavien palveluiden sekä niiden kohderyhmän huolellinen selvittäminen ja valinta.

Asiakkaiden halujen ja tarpeiden nähtiin eroavan siten, että asiakkaat eivät välttämättä tunnista tarpeitaan oikein, mutta toisaalta halut keskittyvät turhan yksipuolisesti kaukolämmön hintaan. Tätä ei kuitenkaan haluttu nähdä asiakkaiden vikana, vaan kaukolämpöyhtiön haasteena saada asiakkaat arvioimaan omaa kaukolämmön käyttöönsä uusien silmin. Tähän liittyy keskeisesti myös kaukolämpöyhtiöiden haaste saada asiakkaat näkemään itsensä myös palveluntarjoajana eikä pelkästään passiivisena lämmön tuottajana, toimittajana ja myyjänä. Asiakkaat tulisi siis saada näkemään kehitysmahdollisuudet kaukolämmön käytössä sekä kaukolämpöyhtiö keskeisenä tahona niitä tarjoamassa.

Digitaalisten palveluiden osalta niiden käyttöönoton ja käytön hinta on melko suoraviivainen selvittää, mutta saatavien hyötyjen osalta tilanne on abstraktimpi. Liian korkean hinnan nähtiin ilmiselvästi laskevan asiakkaiden kiinnostusta, joten palveluiden hinta täytyy pystyä pitämään maltillisina. Toisena vaihtoehtona nähtiin palveluista saatavien hyötyjen konkretisointi pilottihankkeiden tai erityisen kiinnostuneiden asiakkaiden kanssa yhteistyössä.

Haastatteluissa nousi selkeästi esiin, ettei kaukolämpöyhtiöillä ole suuria haluja kehittää palveluita, joita asiakkaat eivät selkeästi indikoineet haluavansa ja tarvitsevansa. Samassa yhteydessä tämä nousi myös jonkunlaiseksi esteeksi ja hidasteeksi, koska palveluiden kehittäminen tyssää, jos asiallta ei tule tai asialle ei esitetä heitä kiinnostavia kehitysideoita.

Saman tyyppisenä ongelmana nähtiin myös päätöksenteko asunto-osakeyhtiöissä, koska niissä päätöksentekijäjoukko ja heidän pohjatietonsa ovat hyvin monenkirjavat. Ratkaisuna asiaa nähtiin etenkin isännöitsijöiden ja taloyhtiöiden hallitusten

Digitaalisten palveluiden esteiden ja hidasteiden osalta saadut vastaukset on yhdistetty kysyntäjoustopon kanssa saatuihin vastauksiin ja niistä saatujen vastausten lukumäärät kertoo Kuva 10 ja Kuva 11. Kuvat löytyvät seuraavan kappaleen lopusta.

4.2.4 Kysyntäjousto

Tämän diplomityön tavoitteita mukaillen kysyntäjoustopon varattiin eniten aikaa kyselystä ja siitä saatiin monipuoliset vastaukset. Jokaisessa haastattelussa yrityksessä rakennusten kysyntäjoustopon oli tuttu konsepti sekä mahdollisten toteutustapojen että saavutettavien hyötyjen osalta. Merkittäviä eroavaisuuksia löytyi siitä, miten pitkälle vietyjä nämä pohdinnat olivat, sekä miten eri toteutustapoja ja hyötyjä oli arvotettu.

Kysyntäjoustopon toteutuksen asteen osalta haastatellut yhtiöt voidaan jakaa kolmeen eri ryhmään: konkreettisia toimia toteuttaneet tai suunnitelleet, aktiivisesti kysyntäjoustopon pohtineisiin ja vain teoriatasolla kysyntäjoustopon suunnitelleisiin. Toteutustapojen ja hyötyjen osalta vastaava jaottelu on: sisäilmaolosuhteita korostavat, lämmityskulujen säästöjä korostavat ja vaihtoehdot avoimena pitävät. Yksittäisten yhtiöiden tämänhetkiset kokonaisnäkemykset kysyntäjoustopon ovat hyvin moninaisia ja yhdistävät tekijät koskevat lähinnä yksittäisiä kysymyksiä, eivät kokonaisuutta.

Toteutuksen osalta konkreettisella tasolla olevat yhtiöt ovat joko tehneet pilottitestejä rakennuksissa tai heillä on jo avattu keskusteluyhteys pilottitestien tekemiseksi yhteistyötahojen kanssa. Näillä yhtiöillä on siis pidemmälle ulottuvia suunnitelmia kysyntäjoustopon mietitynä. Tämä ei kuitenkaan tarkoita, että kysyntäjoustopon pysyvästä käyttöönotosta olisi päätöksiä tai suunnitelmia. Yhtiöiden mukaan vasta konkreettisten testien kautta nähdään, kannattaako kysyntäjoustopon kehittämiseen panostaa juuri tällä hetkellä.

Aktiivisesti kysyntäjoustopon toteutusta miettineet yhtiöt olivat pohtineet sekä toteutustapoja että saavutettavia hyötyjä. Heillä on valmius osallistua tai järjestää pilottitestejä kysyntäjoustopon, mutta niitä ei tällä hetkellä ole suunnitteilla. Yhtiöt toivat esiin myös kaukolämmön muut joustomahdollisuudet ja joissain vastauksissa pidettiin mahdollisena, että kysyntäjoustopon kehittäminen lähitulevaisuudessa jää heidän osaltaan vähäiseksi, jos johonkin muuhun joustotapaan päätetään investoida.

Kysyntäjoustopon ei tyrmätty myöskään teoriatasolla asiaa pohtineissa yrityksissä, mutta niiden osalta esiin nousi, että yhtiöt näkivät kysyntäjoustopon selvittämisen ja kehittämisen niin työlääksi, etteivät niiden omat resurssit tällä hetkellä ole riittävät. Näissä yhtiöissä oltiin kuitenkin kiinnostuneita muualla tehtävistä kysyntäjoustopon testeistä ja omia näkemyksiä oltiin valmiita kehittämään näistä saatavien tulosten pohjalta.

Toteutustapojen ja hyötyjen osalta sisäilmaolosuhteita korostavissa yhtiöissä oli tultu siihen tulokseen, etteivät kysyntäjoustopon saavutettavissa olevat hyödyt ole asiakkaan kannalta riittävät suhteessa vaadittuun investointiin. Tällöin kysyntäjoustopon mahdollistavat investoinnit tulisi perustella ensisijaisesti parantuvan talotekniikan ja sitä kautta sisäilmaolosuhteiden kautta. Olemassa olevaan talotekniikkaan yhdistettynä kysyntäjoustopon käyttöönottoa tulisi näiden yhtiöiden näkemyksen mukaan verrata käyttäjän kokemaan haittaan. Ajatuksena olisi siis tehdä kysyntäjoustopon mahdollisimman vähän käyttäjään vaikuttavaa, jolloin siihen liittyminen olisi houkuttelevaa.

Lämmityskulujen säästöä korostavissa yhtiöissä olennaiseksi nähtiin parantuvan talotekniikan kautta saatava kokonaislämmönkulutuksen lasku. Kysyntäjousto olisi tässäkin tapauksessa mahdollinen lisäsäästökohde. Investointi katettaisiin siis pääasiassa energiamaksun pienentymisellä. Molemmista edellä mainituista tavoista kysyntäjoustolla asiakkaan saama hyöty nähtiin ensisijaisesti laskutustehon pienentymisenä, kun älykkäällä säätöjärjestelmällä rakennuksen lämmitystä voidaan ohjata lämpimän käyttöveden kulutuksen mukaan.

Vaihtoehdot avoimena pitävissä yhtiöissä älykkäillä säätöratkaisulla saatavia hyötyjä ei vielä nähty riittävän suuriksi investointia kattamaan, joten heidän ajatuksensa olivat lähinnä teoriatasolla. Kysyntäjouston käyttöönotosta asiakkaalle syntyvä konkreettinen rahallinen hyöty nähtiin keskeiseksi, mutta kaukolämpöyhtiön saama hyöty, jolla asiakkaan kompensatio saadaan aikaiseksi, oli vielä epäselvä.

Kahdessa jälkimmäisessä ryhmässä valittava toteutustapa nähtiin riippuvan saavutettavissa olevista hyödyistä, eikä kaukolämpöyhtiön tekemiä investointeja nähty mahdottomiksi. Haasteena kaukolämpöyhtiön tekemille investoinneille nähtiin lähinnä vastuukysymykset tilanteessa, jossa kaukolämpöyhtiön omistamat ja hallinnoimat laitteet ovat sijoitettuna asiakkaan ja käyttäjän tiloihin.

Kaikki haastatellut yhtiöt kuitenkin korostivat, että kaukolämpöalalla vallitseva toimintatapa on, että asiakas investoi oman kiinteistönsä laitteisiin. Erikseen kysyttäessä nähtiin mahdollisena, että kaukolämpöyhtiö voisi tarjota palveluna rahoitusta älykkäiden säätöjärjestelmien ja kysyntäjouston vaatimiin investointeihin.

Suurimmaksi ongelmaksi kysyntäjouston hyötyjen ja kompensatioiden toteuttamiseksi nähtiin riittävän suuren rakennusmassan saaminen kysyntäjouston piiriin. Suurelle rakennusmassalle korvaaviksi hyödyntämismahdollisuuksiksi mainittiin muun muassa kysyntäjouston kytkeminen CHP-laitosten sähköntuotannon kannattavuuteen, verkon mahdollisten pullonkaulojen ja latvapisteiden hallintaan sekä optimaalisesta paluuveden lämpötilasta palkitseminen.

Vaatus suuresta rakennusmassasta ymmärrettiin haastatelluissa yhtiöissä myös niin, ettei kaukolämpöyhtiö voi rajoittaa kysyntäjoustoan osallistumista vain yhteen tekniseen toteutustapaan tai laitetoimittajaan. Vaikka kaukolämpöyhtiö myisi itse aktiivisesti vain yhdenlaista ratkaisua, nähtiin että kaikkien osapuolien kannalta on edullista tarjota myös kaikille avointa liittymisalustaa. Kaikille teknisille ratkaisuille avoin kysyntäjousto nähtiin kuitenkin vasta myöhemmin kehitettäväksi asiaksi, koska kysyntäjouston kehitys on niin alkutekijöisään ja kulutusmittareista on jo nykyään mahdollista lähettää kulutusdataa suoraan asiakkaan talotekniikkajärjestelmään.

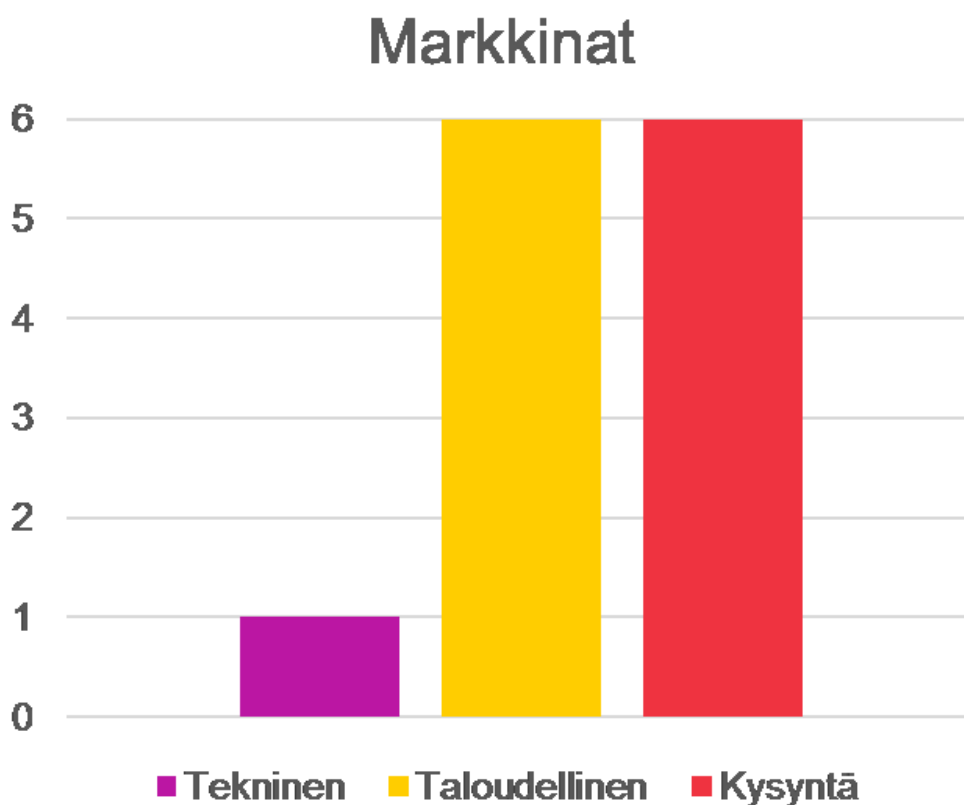
Rakennusten kysyntäjoustoan kokonaisuutena suhtautumisen keskeinen erottelava tekijä oli kaukolämpöverkon tuotantorakenne. Kaukolämmön keskimääräinen hinta nähtiin kysyntäjouston houkuttelevuuden kannalta merkittäväksi ja käytännössä hinnan määrittää tuotantokustannus.

Yhtiöillä, joilla on reilusti CHP-kapasiteettia verkossaan, huippukuormalaitosten käyttö jää hyvin vähäiseksi, jolloin niiden käytön välttämällä saatava säästöpotentiaali on hyvin pieni. Monipuolisemman tuotantorakenteen yhtiöillä säästöpotentiaalia on enemmän, koska

kalliimpia tuotantolaitoksia joudutaan käyttämään enemmän, jolloin vältettäviä käyttötilanteita on myös enemmän. Pienemmissä kaukolämpöverkoissa kysyntäjoustop hyöty on huomosti ennakoitavissa, koska tuotantolaitosten pienen määrän takia kysyntäjoustopilla on hyödyntämispotentiaalia vain harvoilla kokonaiskulutuksmäärillä.

Myös rakennusten kysyntäjoustop käyttöönnotosta kysyttiin haastatelluilta yrityksiltä esteitä ja hidasteita. Kokonaisnäkemyks ei ollut yhtä positiivinen kuin digitaalisten palveluiden osalta, joskaan suuria ongelmia ei nähty kysyntäjoustop teknisen toteuttamisen puolella. Teknisen toteutuksen esille tulleet haasteet liittyivät kaukolämpöyhtiön omien resurssien käyttöön esimerkiksi esiselvityksiä tehtäessä ja kysyntäjoustop vaikutuksia laskettaessa.

Yleisimmäksi ja tärkeimmäksi esteeksi ja hidasteeksi muodostui epävarmuus kysyntäjoustop vaatimien teknisten ratkaisujen kokonaiskustannuksista sekä saavutettavien rahallisten hyötyjen määrästä kaukolämpöyhtiölle ja asiakkaalle. Kaukolämpöyhtiöt eivät olleet valmiita tekemään ennakkolupauksia saavutettavista säästöistä, mutta asiakkaiden ei myöskään uskottu tekevän minkäänlaisia investointeja ilman varmoja takeita saavutettavissa olevista säästöistä. Lisäksi yleiskäsitys kustannusten ja hyötyjen tämänhetkisestä suhteesta oli, että kysyntäjoustop mahdollistavien järjestelmien hinnan tulisi laskea.



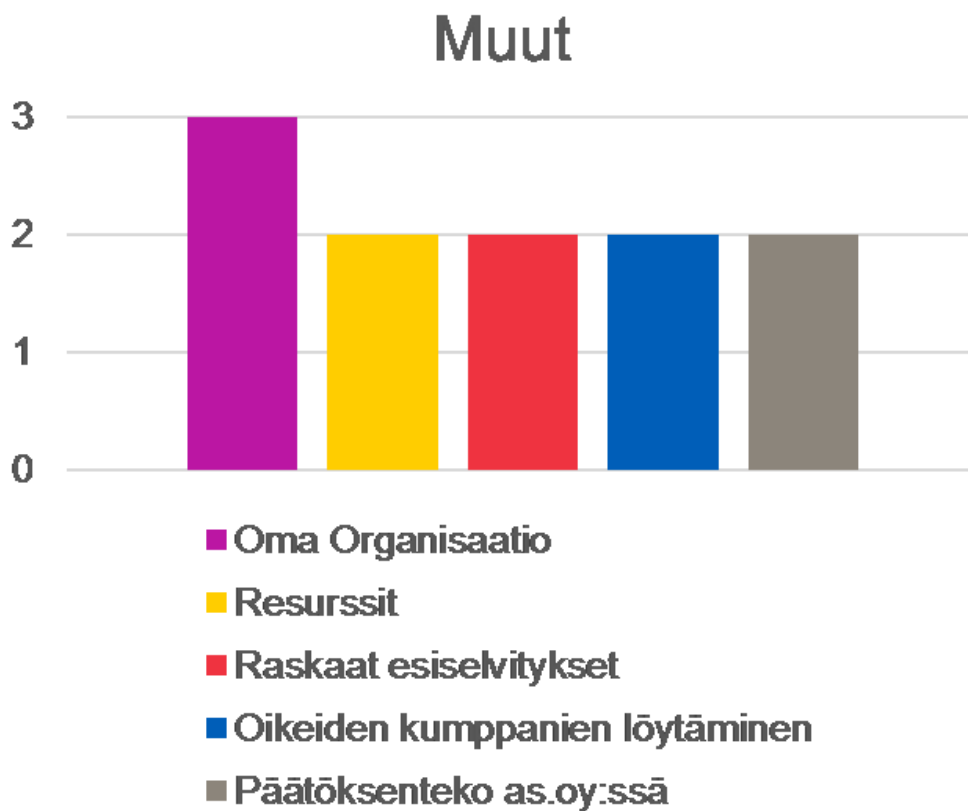
Kuva 10 Digitaalisten palveluiden ja kysyntäjoustop esteet ja hidasteet

Odotukset asiakkaiden suhtautumisesta vaihtelivat skeptisestä toiveikkaaseen, mutta vähintäänkin nähtiin kysyntäjoustop käyttöönnoton vaativan panostuksia asiakasviestintään. Skeptisimpien näkemysten mukaan asiakkaiden valmius investoida kiinteistöidensä talotekniikkaan ylimääräistä lähentelee nollaa. Toiveikkaampien näkemysten mukaan aktiivisimmilla

asiakkaila on jo nyt haluja optimoida lämmönkulutustaan ja passiivisemmat asiakkaat kyllä kiinnostuvat aiheesta, kunhan siitä saadaan konkreettisia kokemuksia.

Yhdessä haastattelussa tuli ilmi, että erilaisia talotekniikkainvestointeja pohdittaessa tulee ottaa huomioon myös kiinteistöjen arvo markkinoilla. Jos asumisviihtyvyyttä parantavat tai asumiskuluja laskevat investoinnit eivät näy kiinteistön markkina-arvossa mitenkään, on investoinnin toteutumistodennäköisyys hyvin pieni.

Kuva 10 ja Kuva 11 tiivistävät sekä kysyntäjoustopotentialin että digitaalisten palveluiden käyttöönoton osalta haastatteluissa esille tulleet esteet ja hidasteet. Kuvia verrattaessa huomataan, että selkeimmät esteet ja hidasteet nähdään kannattavuudessa ja kysyntäjoustopotentialin tarpeessa.



Kuva 11 Digitaalisten palveluiden ja kysyntäjoustopotentialin esteet ja hidasteet

4.3 Analyysi

Vaikka kyselytutkimuksen aihealueet valittiin hieman laajemmin, kuin tämä diplomityö suoranaisesti olisi vaatinut, perustui valinta tämän diplomityön ja REINO-hankkeen tavoitteisiin. Ennakkotiedon pohjalta tehtiin pohja-analyysi, jossa todettiin, että valmiudet rakennusten kysyntäjoustopotentialin kehittämiseksi liittyvät laajemmin kaukolämpöyhtiöiden valmiuksiin ja haluihin uusien palveluiden sekä liiketoiminnan kehittämiseen. Kysyntäjoustopotentialia ei yksinään nähty keskeiseksi kehityskohdaksi kaukolämpöyhtiöille.

Ennakkoselvitysten pohjalta kysyntäjoustopotentialia lähdettiin siis selvittämään enemmän valmiuksien ja mahdollisuuksien kautta, eikä pelkästään konkreettisten tekojen ja suunnitelmien kautta.

nitelmien kautta. Valitulla näkökulmalla oli mahdollista saada hyvä kokonaiskäsitys rakennusten kysyntäjouaston potentiaalista Suomessa, mutta valinta oli myös riskialtis kaukolämmön alueellisen luonteen vuoksi.

Koska kaukolämpöverkot pistemäisiä itsenäisesti toimivia verkkoja, on kysyntäjouaston kaltaisten uusien tekniikoiden käyttöönotto täysin paikallisesta kaukolämpöyhtiöstä riippuvaista. Kahdessa samankaltaisessa verkossa valitut kehityssuunnat voivat olla hyvin erilaiset päätöksenteon painotusten johdattamina. Yksinkertaisimmillaan eri kaukolämpöverkot voitaisiin jaotella kahteen ryhmään, niihin joissa kysyntäjousto onnistuu ja niihin joissa ei. Kyselytutkimuksen tulokset eivät kuitenkaan tue näin karkeaa jaottelua.

Kokonaiskuvaa katsottaessa tilanne haastatteluissa yhtiöissä vaikuttaa kysyntäjouaston kannalta positiiviselta, eikä haastatteluissa myöskään tullut esille maanlaajuisia rajoittavia tekijöitä. On kuitenkin mainittava, että haastateltujen henkilöiden rooli kaukolämpöyhtiöissä oli yleisimmin uusien palveluiden kehittämisen puolella. Haastatteluissa tulikin ilmi, että he olivat myös henkilökohtaisesti uusien palveluiden lanseeraamisen kannalla. Tarkasteltaessa lähemmin kysyntäjouaston konkreettisia kriteereitä, nousi esille selkeitä kohteita, joille täytyy löytää ratkaisut ennen kuin rakennusten kysyntäjousto voidaan kehittää pilottikohteista eteenpäin.

Kokonaisuuden positiivisuus perustuu digitaalisten palveluiden osalta kyselytutkimuksessa saatuihin vastauksiin. Kaikissa haastatteluissa yhtiöissä digitalisaation vaatimukset ja mahdollisuudet oli tunnistettu ja niihin oli reagoitu. Keskeisenä kannustimena on ollut etäluettavien kulutusmittarien käyttöönotto, mikä on mahdollistanut tarkemman ja reaaliaikaisemman kulutusseurannan kaukolämpöyhtiölle ja –raportoinnin asiakkaille. Asiakkaille suunnatuista oman kaukolämpöasiakkuden seuranta- ja hallintajärjestelmistä olikin vastausten perusteella tullut ja alan peruskäytäntö ja –vaatimus.

Osalla haastatteluista yhtiöistä palvelutarjonta ja sen suunnitellut laajennukset jäivät kuitenkin tähän. Silti niissäkin uusia avauksia oli pohdittu ja periaatteellinen valmius oli olemassa. Keskeinen tekijä näissä uusissa avauksissa on asiakasviestinnän oikea hyödyntäminen. Kyselytutkimuksessakin tuli ilmi, ettei kaukolämpöasiakkaille ole tällä hetkellä suuria tarpeita tai visioita uusista digitaalisista palveluista. Toisaalta vastauksissa tuli myös ilmi, että uusin palveluihin, joita oli otettu käyttöön, oltiin yleensä hyvin tyytyväisiä. Voidaankin sanoa, että kaukolämpöalalla argumentti ”asiakkaat eivät koe tarvitsevänsä mitään uutta” on korkeintaan puoliksi totta.

Yhtiöt, joissa uusia palveluita oltiin otettu käyttöön, oli käyttöönotosta lähinnä positiivisia kokemuksia. Etenkin aktiivisimmissa yhtiöissä palveluiden laajentaminen nähtiin jokapäiväisenä asiana, joka ei vaadi erityisiä kehitysprojekteja. Haastatteluissa tuli kuitenkin ilmi myös selkeät kriteerit uusien palveluiden kehittämiseksi: niiden tulee tuoda todellista lisäarvoa yhtiölle ja asiakkaalle, eivätkä ne saa haitata olemassa olevaa liiketoimintaa.

Positiivinen kokonaiskuva nivoutuikin palveluiden rahoitusmallien ympärille. Ylipäänsä uusien palveluiden käyttöönoton nähtiin ratkeavan asiakkaiden halukkuuteen maksaa niistä. Koska kaukolämmön nykyinen liiketoimintamalli on opettanut asiakkaat passiivisiksi, ei asiakkaiden uskottu haluavan peruspalvelun päälle lisää tarjontaa, vaan nykyisen palvelun ke-

hittämistä. Rahallisesti tämä tarkoittaa, että palveluihin käytetyn rahan tulee johtaa joko kustannussäästöihin tai konkreettisiin parannuksiin sisäilmaolosuhteissa tai kiinteistön ylläpidossa.

Kaukolämmön hinnoittelun kannalta tämä näkyi jo tapahtuneissa tai suunnitteilla olevissa hinnoittelumuutoksissa. Enää hinnoittelumallin tärkein tehtävä ei ole tuottaa kaukolämpöyhtiölle tuotantokustannuksia vastaavaa tuottoa ja katetta, vaikka tämänkin kriteerin täytyy täytyä. Hinnoittelumalleilla pyritään vaikuttamaan myös asiakkaan kulutustottumuksiin, muokaten niitä kaukolämpöverkon kannalta edullisemmiksi. Toteutuneet muutokset ovat vielä melko hillittyjä, koska asiakkaiden rankaisua ei nähty tehokkaaksi lähestymistavaksi.

Haastatteluissa hinnoittelumallien kehittyessä olennaiseksi nähtiin kaukolämpöyhtiön vastuu asiantuntija-apuna asiakkaalle. Jos esimerkiksi laskutustehon merkitys hinnoittelu nousee, tulee kaukolämpöyhtiön tarjota asiakkaalle työkaluja vaikuttaa sen suuruuteen. Yhdessä tämän kanssa yhtiöissä, joissa asiakkaille tarjottiin useampia hinnoittelumalleja, nähtiin tärkeäksi tarjota asiakkaalle myös hyvin vaivatonta ja ennustettavaa tariffia, josta asiakkaan on helppo verrata, onko vaivattomuus hintaerotuksen arvoista.

Kysyntäjouaston osalta kaukolämmön hinnoittelu nousi esiin keskusteltaessa kysyntäjouaston hyödyistä. Kaukolämmön keskimääräistä hintaa käytettiin argumenttina kysyntäjouaston puolesta ja vastaan, mikä on hieman erikoista, sillä kysyntäjouaston konseptin mukaan hyödyt muodostuvat korkeampien kustannusten tuotannon välttämisestä. Oleellista on siis hetkittäinen tuotannon marginaalikustannus ja sen erotus hetkelliseen tuotantokustannukseen. Näin kehittynyt hyötylaskenta vaatii esiselvityksiä, joiden tekemistä ei nykyisillä resursseilla pidetty kovin todennäköisenä.

Yleinen näkemys oli siis, että lyhyellä aikavälillä kysyntäjouaston tulee sopeutua nykyisiin hinnoittelumalleihin. Toisaalta pitää ottaa huomioon, että kaukolämpöakkuja on rakennettu useisiin kaukolämpöverkkoihin, joten yhtiöillä on myös oltava käsitys niillä saatavista hyödyistä suhteessa investointi- ja käyttökustannuksiin.

Kysyntäjouaston osalta kokonaisuus ei vaikuta yhtä lupaavalta, kuin digitaalisten palveluiden tapauksessa. Vaikka kaikissa haastatteluissa yhtiöissä kysyntäjouasto oli tunnettu konsepti ja sen tavoitteita pidettiin kannatettavina, hajosivat käsitykset siitä, millä aikavälillä kysyntäjouastoa oltaisiin ottamassa käyttöön. Osassa yhtiöitä kysyntäjouaston käyttöönotto nähtiin loogisena jatkumona digitaalisten palveluiden yleistymiselle, kun taas toisissa nähtiin, ettei kysyntäjouasto ole vielä lähivuosina yleistynyt konsepti.

Näkemyseroista huolimatta haastatteluissa yhtiöissä nähtiin, että jos esille tulleet esteet ja hidasteet ratkeavat, kysyntäjouastoa on mahdollista ottaa käyttöön jo nyt. Useissa haastatteluissa tuotiin myös esille näkemys, että jos rakennusten kysyntäjouasto päätetään yhtiöissä ottaa selkeäksi kehityssuunnaksi, esteet ja hidasteet myös ratkeavat tavalla tai toisella.

Ulkopuolisten erilaisia kysyntäjouaston toteutusmalleja tarjoavien aktiivinen rooli tuli myös esille. Luonnollisesti heidän yhteydenottonsa olivat saaneet parempaa vastakaikua yhtiöissä, joissa kysyntäjouasto nähtiin tämän päivän ratkaisuna, eikä tulevaisuuden kehityssuuntana. Etenkin hieman pienemmissä kaukolämpöyhtiöissä uskottiin, että suurempien kiinteistökehittäjien kautta älykkäät säätöjärjestelmät ja sitä kautta kysyntäjouastoratkaisut tulevat kaikkiin kaukolämpöverkkoihin, haluttiin sitä tai ei. Tämä tarkoittaa sitä, että kaukolämpöyhtiön

tulee ottaa huomioon hinnoittelumalleissaan se, että jo nyt ja lähitulevaisuudessa ensimmäiset asiakkaat alkavat optimoida kaukolämmön kulutustaan kohti alinta mahdollista hintaa.

Vaikka selkeitä haluja kysyntäjoustopohjaisen kehittämiselle on ja etenkin aktiivisimmat yhtiöt erityisesti korostivat kehityshalujaan, olisi liian rohkeaa sanoa, että rakennusten kysyntäjoustopohjainen lähtötilaisuudessa käyttöön useissa kaukolämpöverkoissa. Kaikki haastatellut yhtiöt, etenkin ne keillä omia pilottihankkeita ei ole tulossa, panottasivat tarkkaa kantaansa viitaten tekeillä oleviin pilottihankkeisiin. Nyt tehdyn kyselytutkimuksen toteutustavalla jää epäselväksi, minkälaisia tuloksia eri kaukolämpöyhtiöt toivovat kysyntäjoustopohjaisista saatavan.

Yleisellä tasolla voidaan sanoa, että mitä pidemmäksi kiinteistön kysyntäjoustopohjaisen keston saadaan venytettyä, sen parempi, mutta toisaalta myös hetkellinen joustokyky on hyödyllistä. Suurinta hetkellistä joustokykyä ei kuitenkaan nähty järkeväksi tavoitella, koska kaukolämmön vaivattomuudesta halutaan pitää kiinni, eikä asukkaiden lämpimän käyttöveden kulu-
tustottumuksia haluta rajata.

5 Potentiaali tutkituissa kohteissa

Tässä osiossa arvioidaan tässä diplomityössä tutkittuja kohteita saatujen tulosten perusteella. Kohteet on jaettu kolmeen ryhmään, joista ensimmäiseen kuuluvat kohteet, joissa rakennusten kysyntäjousto on tulosten perusteella mahdollista ottaa käyttöön lyhyellä aikavälillä. Toisessa ryhmässä ovat kohteet, joissa kysyntäjoustolle ei tässä työssä löydetty poissulkevia esteitä. Kuitenkin tässä ryhmässä olevista kohteista nousi esiin asioita, joiden kehittyessä kysyntäjoustolle epäsuosiolliseen suuntaan, ei kysyntäjousto ole mahdollista ottaa käyttöön lyhyellä aikavälillä. Kolmanteen ryhmään kuuluvat kohteet, joissa kysyntäjouston käyttöönotto on huomattavan epätodennäköistä.

5.1 Soveltuvat kohteet

5.1.1 Suomi

Osana tätä diplomityötä ja REINO-hanketta suoritettussa kyselytutkimuksessa suurimmille suomalaisille kaukolämpöyhtiöille saatiin, etenkin haastateltujen yhtiöiden osalta, hyvä kuva rakennusten kysyntäjouston käyttöönottomahdollisuuksista Suomen kaukolämpöalalla. Kappaleessa 4 esitetyt tulokset perustuvat tätä diplomityötä varten tehtyihin haastatteluihin, mutta myös REINO-hankkeeseen tehdyt haastattelut tukevat tässä diplomityössä saatuja tuloksia.

Haastatteluiden perusteella kysyntäjoustolle soveltuvimpia kohteita ovat yhtiöt, joissa omiin resursseihin palveluiden kehittämisessä on jo satsattu ja palveluliiketoiminnan kehittäminen on nähty yhtiöille kannattavaksi. Yhtiöiden valmiudet osallistua aktiivisesti kysyntäjouston pilottihankkeisiin ovat hyvät, joskin omien resurssien rajallisuus on tunnistettu.

Riippuen yhtiöiden kehitysresursseista niiden rooli kysyntäjouston osalta on joko aktiivinen tai aktiivisesti kiinnostunut. Aktiiviset yhtiöt vievät kysyntäjousto eteenpäin osana muiden digitaalisten palveluiden kehittämistä ja mukana olevien kumppanien rooli on lähempänä teknisten ratkaisujen tarjoajaa. Aktiivisesti kiinnostuneet yhtiöt ovat myös mukana kehityksessä, mutta niiden odotukset kumppaniosapuolien aktiivisuudesta ovat suuremmat. Heidän verkkojensa alueella kehityshankkeet eivät tyssää kaukolämpöyhtiön toimiin tai asenteisiin.

Myös näissä soveltuvimmissa yhtiöissä kysyntäjoustolla on joitain haasteita. Yksi yhtiöistä ei nähnyt omaa tuotantorakennettaan kovin soveltuvaksi rakennusten kysyntäjoustolle lyhyellä aikajänteellä. Toisessa taas käsitykset kysyntäjouston asiakkaalle tulevasta hyödyistä olivat hyvin kummalliset, rajoittuen lähinnä koko kaukolämpöverkon kustannusten ja sitä kautta keskimääräisen kaukolämmön hinnan laskuun.

Asiakkaista ainakin osan odotettiin olevan kiinnostuneita kysyntäjoudesta, mutta asiakkaiden odotusten realistisuudesta oli eriäviä käsityksiä. Osassa yhtiöissä asiakkaiden odottamat hyödyt nähtiin tällä hetkellä liian suuriksi. Osassa taas nähtiin, että asiakkaiden odotukset ja kysyntäjouston todelliset hyödyt saadaan kohtaamaan esimerkiksi onnistuneella asiakasvies-tinnällä.

Haastatelluista yhdeksästä kaukolämpöyhtiöstä neljä voidaan luokitella rakennusten kysyntäjouston kannalta potentiaalliseksi käyttöönottokohteeksi. Näin suurta osaa koko Suomen kaukolämpöalasta ei kuitenkaan tämän työn tulosten pohjalta voida pitää kysyntäjoustolle

potentiaalisena. Haastatellut kaukolämpöyhtiöt olivat suurimpia yhtiöitä ja jo niiden joukossa oli aistittavissa, että yhtiöiden omat kehitysresurssit niukkenevat yhtiön koon pienen-tyessä. Kuten haastatteluissakin tuli ilmi, tämä ongelma on ratkaistavissa soveltuvilla kump-paneilla, mutta voidaan pitää todennäköisenä, ettei monille yhtiöille tämä ole ratkaisu. Pie-nempi puolikas Suomen kaukolämmön myyjistä myy vain 5,5 prosenttia Suomen kaukoläm-möstä (ET 2016).

5.1.2 Ruotsi

Ruotsissa kaukolämpöalan kehitystyö on aktiivista ja etenkin kansainvälisissä tieteellisissä julkaisuissa ruotsalaiset kaukolämpötutkimukset ovat erittäin hyvin edustettuina. Yhdessä historiallisesti katsottuna pitkään kestäneen kehitystyön kanssa Ruotsin kaukolämpöala voi-daan nähdä otollisen ympäristönä uusille kehityshankkeille ja ideoille.

Tukholman kaukolämpöverkossa on Fortumin lanseeraaman avoimen kaukolämpöverkon kautta tässä diplomityössä tutkituista kohteista pisimmälle viety järjestelmä kaukolämmön tuntikohtaiselle hinnoittelulle. Sen perusteella Tukholma olisikin otollisin paikka rakennus-ten kysyntäjouaston laajemmalle käyttöönnotolle.

Valitettavasti Tukholman järjestelmä on kuitenkin vielä painottunut kaukolämmön tuotan-non optimointiin, ei kulutuksen. Toisin sanoen rahallisesti otollisimmat ajanhetket kuluttaa tai tuottaa kaukolämpöä hyödyttävät tällä hetkellä vain tahoja, jotka pystyvät myymään kau-kolämpöä verkkoon. Kysyntäjouaston mahdollistamat järjestelmät toimivat myös kaukoläm-mön myynnissä, mutta se ei tämän diplomityön kannalta ole keskeistä.

Tukholman soveltuvuus kysyntäjouaston käyttöönottoon lyhyellä aikavälillä riippuukin For-tum haluista ja valmiuksista tarjota tuntikohtaista hinnoittelua myös kaukolämmön kulutta-jille. Jos tuntikohtainen hinnoittelu saadaan käyttöön, on Tukholman järjestelmä valmis ky-syntäjouaston laajamittaiselle käytölle.

Kaukolämmön myyjille julkistetut ostohinnat antavat kuitenkin ymmärtää, ettei myyjille tar-jottavat hinta riipu pelkästään Fortumin omista tuotantokustannuksista, sillä julkiset päivä-kohtaiset tunti hinnat ovat hyvin stabiilit, joskin hintatietoa julkistetaan vain päiväkohtaisesti, eikä historiatietoa ole tarjolla. (Fortum Ruotsi 2017b)

Göteborgin kaukolämpöverkossa tilanne on lähempänä kaukolämmön perinteistä toiminta-tapaa, joskin vuosittaisesta perusmaksusta luopuminen on melko yllättävää. Tärkeämpää Göteborgin kaukolämpöverkkoa analysoitaessa on aktiivisuus sekä kaukolämmön kehitys-hankkeissa, että tieteellisessä tutkimuksessa.

Rakennusten kysyntäjousto onkin Göteborgissa jo pilotoitu alustavasti (Kensby, Trüschel, ja Dalenbäck 2015). Lisäksi kysyntäjousto on tunnistettu selkeänä tulevaisuuden kehitys-suuntana kaukolämmössä esimerkiksi Göteborgin kaukolämpöverkon tulevaisuusnäkyviä tutkineessa diplomityössä (Holm ja Ottosson 2016).

Kysyntäjouaston vallitsevaa kehitystasetta pohdittaessa Göteborgin kaukolämpö vaikuttaa potentiaalisemmalta kuin Tukholman, joskin on syytä varautua siihen, että siellä on jo käyn-nistetty omia jatkokehityshankkeita aiheen tiimoilta, jolloin uusien toimijoiden mukaan tulo on haastavampaa. Toisaalta aktiivinen kehitysympäristö voidaan nähdä kaikkia osapuolia hyödyttäväksi.

5.1.3 Tanska

Kööpenhaminan alueen kaukolämpöjärjestelmässä on selkeitä ja kunnianhimoisia tavoitteita kaukolämmön kehittämiseksi. Nämä tavoitteet liittyvät kuitenkin ensisijaisesti ilmastoneutraalin tuotannon lisäämiseen, ei niinkään kaukolämmön kehittämiseen itsessään. Myös koko Tanskan energiajärjestelmässä tavoitteet ovat samansuuntaisia, lisättynä erityisellä tarpeella varautua vaihtelevan uusiutuvan energiantuotannon aiheuttamiin haasteisiin.

Positiivisista ennakkotiedoista huolimatta rakennusten kysyntäjousto ei lähdetiedoissa nous-
sut kehityssuunnaksi, jolla muuttuvan energiajärjestelmän haasteisiin voitaisiin vastata. Näiden tietojen pohjalta voitaisiin siis olettaa, ettei kysyntäjouston käyttöönotosta tai testauksesta ole vielä selkeitä suunnitelmia.

Tarkasteltaessa Kööpenhaminan alueen kaukolämpöjärjestelmää, on järjestelmässä mukana olevien toimijoiden valtava määrä suuri epävarmuustekijä. Toisaalta yksittäisellä pienemällä alueella pienimuotoisemmat kehityshankkeet ovat mahdollisia, mutta koko alueella käyttöön otettavien uusien järjestelmien kehitys vaatii toimijoiden välistä yhteistyöprojektiä. Kun tähän lisätään vielä tanskalainen hintasääntely, jossa kunnallinen viranomainen valvoo kaukolämmön hinnoittelua, alkaa 21 eri alueviranomaisen Kööpenhaminan järjestelmä vaikuttaa kovin monimutkaiselta markkina-alueelta.

Kuitenkin katsottaessa Tanskan koko energiajärjestelmän ja kaukolämpöalan kehitystavoitteilta, voidaan todeta, että kysyntäjouston kaltaisille kehityshankkeille on tilausta. Olen-
naisiksi kysymykseksi nousee, milloin muihin kehityshankkeisiin liittyen kysyntäjouston käyttöönotto on Tanskan ja Kööpenhaminan järjestelmissä optimaalista. Kriittisimmäksi tekijäksi voidaan mainita etäluettavien mittareiden käyttöönotto.

5.2 *Potentiaali epäselvä*

5.2.1 Suomi

Viisi yhdeksästä kyselytutkimuksessa haastatellusta yhtiöstä jäi rakennusten kysyntäjouston potentiaalin osalta vielä harmaalle alueelle. Osa hyvinkin lupaavina, mutta osa melko lupauksia herättämättöminä. Kaikilla yhtiöillä oli nähtävissä selkeitä ongelmia kysyntäjouston käyttöönottamisessa, asenteissa tai suunnitelmissa.

Lupaavimpia olivat yhtiöt, joissa kysyntäjousto oli pohdittu ja siihen suhtauduttiin positiivisesti. Selkeät päätökset kysyntäjouston ottamisesta kehityskohteeksi kuitenkin puuttuivat joko, koska sitä ei tällä hetkellä nähty tarpeelliseksi, tai muussa kehitystyössä nähtiin vielä tärkeämpää tehtävää. Kysyntäjousto ei nähty tarpeelliseksi, jos oma tuotantorakenne nähtiin soveltuvan nykyiseen kulutusprofiiliin riittävän hyvin. Muu kehitystyö taas oli kysyntäjouston esteenä, koska ilman sitä kysyntäjouston toteuttaminen tai sen hyötyjen ennustaminen on hankalaa ja epätarkkaa.

Huonommalta tilanne vaikutti yhtiöissä, joissa asenne digitaalisten palveluiden ja sitä kautta kysyntäjouston kehittämiseksi oli passiivinen. Valmiuksia ja resursseja ei näissä yhtiöissä pyritty aktiivisesti hyödyntämään, koska tarvetta nykyisen kaukolämmön liiketoimintamallin kehittämiseksi ei nähdä. Kuitenkin verrattaessa muihin haastateltuihin yhtiöihin, esteet kysyntäjouston kehittämiseksi eivät kuitenkaan ole ylitsepääsemättömiä ja monien haastattelujen perusteella ratkaistavissa.

Toisin kuin ennakko-analyysissä varauduttiin, tässä diplomityössä tai REINO-hankkeen haastatteluissa ei kohdattu kielteisesti rakennusten kysyntäjouksoon tai digitaalisten palveluiden kehittämiseen suhtautuvia kaukolämpöyhtiöitä. Tämän työn tuloksilla epäilystä näiden yhtiöiden olemassaolosta ei kuitenkaan voida poistaa. Tämän työn tulosten perusteella voidaan vain todeta, että Suomen kaukolämpöalalla kysyntäjoukon poissulkeviin näkemyksiin ja argumentteihin on syytä suhtautua kriittisesti, koska niitä ei tuloksissa juuri esiinny.

5.2.2 Saksa

Saksassa kehitysasenne kaukolämpöalalla on hyvin sääntelymyönteinen, eikä sitä oikein nähdä alana, joka osallistuisi normaaliin kilpailuun markkinoilla. Todennäköisesti rakennusten kysyntäjoukon laajamittainen käyttöönotto vaatisi tarkastelluista maista juuri Saksassa tarkinta ennakkomäärittelyä ja hyötyjen laskentaa.

Sinänsä vahva sääntely on kysyntäjoukon kannalta edullista, sillä sen avulla voidaan määrittää kysyntäjouksoon osallistumiselle niin sanotusti yleisesti hyväksytty hinta, joka kaukolämpöyhtiön tulee todentaa. Toisaalta alkuvaiheessa kysyntäjoukkoa käyttöönotettaessa vaikutus on väistämättä kangistava ja hidastava, sillä myös viranomaissääntelyn tulee tunnistaa kysyntäjoukon hyödyt, jotta ne voidaan kompensoida käyttäjälle.

Saksassa mahdollisena pidettävä käyttäjäkohtainen lämmönmittaus on toki hyödyllistä kysyntäjoukonkin kannalta, sillä sen avulla hyödyt ja kompensaatio voidaan konkreettisesti ulottaa loppukäyttäjälle asti. Kuitenkin yksittäisen talon jokaisen asukkaan on pakko osallistua kysyntäjouksoon, sillä asuntojen välillä siirtyvä lämpö mitätöi kysyntäjoukon vaikutuksen, jos vain osa asukkaista osallistuu.

Tarkasteltaessa tutkittuja kaukolämpöyhtiöitä, Vattenfallia ja Drewagia, ovat molemmat ottaneet selkeän kehityssuunnan omalle toiminnalleen. Vattenfall korostaa kaukolämmön vaihtavuutta ja toimitusvarmuutta, kun taas Drewag yhteistuotannon ja sitä kautta kaukolämmön ympäristöystävällisyyttä, etenkin ilmaston kannalta.

Molemmat kehityssuunnat sopivat kysyntäjoukon käyttöönotolle, sillä kysyntäjoukon mahdollistamilla säätöjärjestelmillä myös sisäilmaolosuhteet paranevat, jolloin ensisijaisen investointikriteerin ei tarvitse olla kysyntäjoukko. Ympäristöystävällisyysnäkökulmaa taas voidaan hyödyntää kysyntäjoukolle edullisesti, koska kysyntäjoukolla tehottomampaa ja mahdollisesti suuripäästöistä tuotantoa voidaan välttää.

5.2.3 Puola

Puolassa kaukolämpöalan tilanne on hyvin mielenkiintoinen, sillä julkisten ja tieteellisten lähteiden perusteella kaukolämpöalan kehittämisessä on aktivoiduttu vasta 2010-luvulla. Neuvostoliiton ajalta periytyvien järjestelmien korjaamisessa ja tehostamisessa onkin reilusti potentiaalia ja työtä.

Puolan kohdalla kysymys kuuluukin, onko tämän hetkinen kehitysaste vielä liikaa koko järjestelmän tasolla, jolloin kysyntäjoukon kaltaiselle kehittymättömälle järjestelmälle ei jää tilaa. Toisaalta optimistisemmasta näkökulmasta voidaan ajatella, että tehtäessä suuria muutoksia kaukolämpöjärjestelmään, voidaan järjestelmä samalla tehdä uudenaikaiseksi, ilman lähimenneisyyden painolastia.

Tutkituista kohteista Fortumin kaukolämpöverkoissa on tehty ja ollaan tekemässä suuria investointeja CHP-laitoksiin, koska vanhat laitokset ovat auttamatta käyttöikänsä päässä. Julkisissa lähteissä muita kehityskohteita ei mainita, mutta verrattaessa Fortumin toimiin Suomessa ja Ruotsissa, voidaan pitää erittäin kummallisena, jos myös Puolassa kehityshankkeita ei pohdita aktiivisesti.

Varsovan kaukolämpöverkossa taas on menossa etäluettavien mittareiden asennushanke, joten siellä valmiudet kysyntäjoustop käyttöön kehittyvät paraikaa. Varsovassa myös potentiaalia kysyntäjoustopille riittäisi merkittävästi, koska verkko on Euroopan tasolla hyvin suuri. Jää kuitenkin nähtäväksi, siitä haluaako verkon omistajataho Veolia aloittaa kehityshankkeet juuri Varsovasta.

Sääntely Puolassa on hyvin tiukkaa ja sääntelyviranomaisen pitää tällä hetkellä kaukolämpöyhtiöt tiukassa ohjauksessa. Jos tilanteesta halutaan etsiä positiivisia näkökulmia, on tilanne esimerkiksi Tanskaan verrattuna melko suoraviivainen. Jotta kysyntäjoustopia voitaisiin ottaa käyttöön tässä työssä esitetyllä tavalla Puolassa, on paikallisen sääntelyviranomaisen väistämättä oltava myönteinen hankkeille.

5.3 Soveltumattomat kohteet

Mitään tässä työssä tutkittua kohdetta ei voida tuomita rakennusten kysyntäjoustopille täysin soveltumattomaksi. Kuitenkin kuten kyselytutkimuksenkin osalta, tässä työssä tarkastellut kohteet valittiin tarkoituksellisesti jo enakkoon potentiaalisemmasta päästä, joten tällä ennakkovalinnalla saattaa olla suuri merkitys saatuihin tuloksiin.

Kaukolämmön alueellisen luonteen vuoksi tämä ei kuitenkaan ole suuri ongelma, koska yhtä lailla kysyntäjoustopin käyttöönotonkin tulee levitä alueittain. Lisäksi muualla saadut mahdolliset positiiviset kokemukset tulevat helpottamaan kysyntäjoustopin leviämistä merkittävästi, kun tarjolla on laajempaa ja tarkempaa tietoa kysyntäjoustopin hyödyistä.

Koska kaukolämpöalan sääntely on maa- ja aluekohtaista, lienee sen käyttöönotto edullisinta aloittaa kohteista, joissa saatuja kokemuksia ja käytäntöjä voidaan suoraan hyödyntää ja ottaa käyttöön esimerkiksi naapurikaupungeissa. Suomea lukuun ottamatta yksi keskeinen haaste tähän alueelliseen luonteeseen liittyen on julkisen tilastotiedon puute. Edes maakohdallisen kokonaiskuvan luominen on hankalaa, koska tilastoinnin mittakaava on liian karkea tai sitä ei ole tarjolla ollenkaan.

6 Johtopäätökset

Osana REINO-hanketta tässä diplomityössä oli tavoitteena selvittää rakennusten kysyntäjouaston käyttöönottopotentiaalia tutkituissa kohteissa. Joiltain osin tavoitteisiin päästiin jopa odotettua paremmin, mutta joiltain osin tämän diplomityön puitteissa kovin tarkkoja tuloksia ei pystytty saamaan.

Kuten osiossa 5 todettiin, kaikissa tutkituissa kohteissa nähtiin potentiaalia rakennusten kysyntäjouaston käyttöönotolle. Etenkin suoritetun kyselytutkimuksen osalta tulokset kysyntäjouaston potentiaalista olivat positiivisia. Kyselytutkimuksessa selvisi useampia kaukolämpöverkkoja, joissa rakennusten kysyntäjouastoa voidaan ottaa käyttöön. Lisäksi potentiaaliltaan alhaisemmiksi tulkituissa verkoissa kysyntäjouasto ei missään nimessä ole poissuljettu tekninen ratkaisu.

Osiossa 3 tarkasteltujen kohteiden osalta saatiin selville, että rakennusten kysyntäjouaston potentiaalia pohdittaessa tilanne on niissä yleisesti ottaen Suomea heikompi. Ruotsissa kehitystyö on vähintäänkin yhtä aktiivista kuin Suomessa, mutta muista maista samanlaista positiivista viestiä ei löydetty. Muissa maissa nousi esiin selkeitä tekijöitä, jotka ovat kysyntäjouastolle haitallisia.

Tanskassa etäluettavien mittarien asennus on vielä kesken. Saksassa ilmapiiri on sääntelymyönteinen ja etäluettavien mittarien asennus on alkutekijöissään. Puolassa kaukolämpöverkot kaipaavat paljon kehitystoimenpiteitä ja alan sääntely on hyvin tiukkaa, joskin yksittäisen ja selkeän tahon alaisuudessa.

Kaukolämpöalasta julkisesti saatavilla olevan tiedon ollessa rajallista muista työssä tutkituista maista oli hyvin haasteellista löytää vertailukelpoista tietoa. Jos tietoa ei ole ollut riittävästi saatavilla, ei kohteita ole myöskään voitu tulkita kysyntäjouaston potentiaalia määrittäessä positiivisesti. Osaltaan kyse on myös jatkotutkimuskohteista, jotka vaativat tarkempaa lähtömaiden kielen tuntemusta ja lainsäädännöllistä osaamista.

Tämän työn perusteella selkein jatkotutkimuskohde onkin kaukolämmön hinnoittelun ja kaukolämpöyhtiöiden sääntely tutkituissa kohteissa, pois lukien kyselytutkimuksen kohdemaana Suomi. Sääntelyn osalta oleellista tietoa on muun muassa: minkälaiseen lainsäädäntöön sääntely perustuu, minkä tahon päätöksillä sitä voidaan muuttaa, ja mikä on sekä kaukolämpöyhtiöiden että sääntelytahojen halukkuus näiden muutosten toteuttamiseen. Yksiselitteistä vastausta siitä, onko tiukempi vai löysempi sääntely kysyntäjouaston kannalta parempi, ei voida antaa, koska tärkeintä on sääntelytahojen ja kaukolämpöyhtiön tahtotila kysyntäjouaston käyttöönotolle.

Toinen selkeä jatkotutkimuskohde on rakennusten kysyntäjouaston laajamittaisen käyttöönoton hyötyjen selvittäminen. Lisäksi laajamittaista käyttöönottoa tulisi mahdollisimman nopeasti testata myös käytännössä, esimerkiksi jossain määrätyssä osassa suurempaa kaukolämpöverkkoa tai pienehkössä kaukolämpöverkossa kokonaisuudessaan. Koska jokainen kaukolämpöverkko on uniikki, tulee se ottaa huomioon laajempien kokeiden tutkimusasetelussa ja tutkimusmenetelmissä.

Muun muassa REINO-hankkeen piirissä tehtyjen kysyntäjouaston pilottikohteiden tuloksiin kohdistuu odotuksia kaukolämpöyhtiöiden taholta. Näistä tuloksista tuleekin tässä työssä

saatujen tulosten perusteella viestiä aktiivisesti relevanteille tahoille. REINO-hankkeen piirissä kysyntäjoustoja tullaan tutkimaan seuraavaksi sähkön kysyntäjouaston osalta. Kaukolämmön ja sähkön kysyntäjoustoja tutkittaessa ja kehitettäessä tulee pitää huolta, että niille määritetyt tavoitteet tukevat toisiaan ja ratkaisuja haetaan tarkoituksenmukaisimmalla tavalla.

Tässä työssä saatujen tulosten perusteella rakennusten kysyntäjoustolla on siis selkeää käyttöönottopotentiaalia ja sen käyttöönoton edistäminen myös tulevaisuudessa on erittäin kannatettavaa. Muiden työssä mainittujen selvityskohteiden ohella etäluettavien kulutusmittareiden merkitystä kysyntäjouaston käyttöönotossa ei voi aliarvioida. Yksittäisenä tekijänä etäluettavia kaukolämmön kulutusmittareita voidaan pitää tärkeimpänä kysyntäjouaston mahdollistajana.

Tässä työssä oli tavoitteena muodostaa kaukolämmön ja rakennusten kysyntäjouaston ajan-kohtaiskuva. Työllä tavoiteltiin nopealla, korkeintaan muutaman vuoden, aikavälillä hyödynnettävissä olevia tuloksia. Kysyntäjouaston teknisiä ominaisuuksia ja erilaisia toteutusmalleja on käsitelty ja tullaan käsittelemään muissa aiheeseen liittyvissä tutkimuksissa.

Lähdeluettelo

- AGEB. 2017. "Energieverbrauch in Deutschland im Jahr 2016". Arbeitsgemeinschaft Energiebilanzen e. V. http://www.ag-energiebilanzen.de/index.php?article_id=29&fileName=ageb_jahresbericht2016_20170301_interaktiv_dt.pdf.
- Arteconi, A., N. J. Hewitt, ja F. Polonara. 2013. "Domestic demand-side management (DSM): Role of heat pumps and thermal energy storage (TES) systems". *Applied Thermal Engineering* 51 (1):155–65. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.09.023>.
- BASREC. 2014. "District Heating and Cooling, Combined Heat and Power and Renewable Energy Sources, BASREC - Best Practices Survey, Appendix - Country Survey". Baltic Sea Region Energy Cooperation. http://basrec.net/wp-content/uploads/2014/11/DHC_CHP_RES_survey_BASREC_Countries.pdf.
- Björkqvist, Olof, Jim Idefeldt, ja Aron Larsson. 2010. "Risk assessment of new pricing strategies in the district heating market". *Energy Policy*, Greater China Energy: Special Section with regular papers, 38 (5):2171–78. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2009.11.064>.
- BMWi. 2017. "National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP) 2017 for the Federal Republic of Germany". Federal Ministry for Economic Affairs and Energy. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/de_neeap_2017_en.pdf.
- Colmenar-Santos, Antonio, Enrique Rosales-Asensio, David Borge-Diez, ja Francisco Mur-Pérez. 2015. "Cogeneration and district heating networks: Measures to remove institutional and financial barriers that restrict their joint use in the EU-28". *Energy* 85 (kesäkuu):403–14. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2015.03.088>.
- CTR. 2017. "Miljø og varme". Centralkommunernes Transmissionsselskab I/S. 20. marraskuuta 2017. <http://www.ctr.dk/milj%C3%B8-og-varme.aspx>.
- Dalla Rosa, A., ja J. E. Christensen. 2011. "Low-energy district heating in energy-efficient building areas". *Energy* 36 (12):6890–99. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.10.001>.
- DEA. 2017. "Denmark's National Energy Efficiency Action Plan (NEEAP)". Danish Energy Agency. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/dk_neeap_2017_en.pdf.
- DREWAG. 2017a. "Geschäftsbericht 2016". Stadtwerke Dresden GmbH. <https://www.drewag.de/wps/wcm/connect/drewag/29ced998-8b45-4a6b-a838-8f15ffb5ee6e/Geschäftsbericht-2016.pdf?MOD=AJPERES&CVID=IMs94O->.
- . 2017b. "Preisblatt für die Wärmelieferungen und sonstige Leistungen". Stadtwerke Dresden GmbH. <https://www.drewag.de/wps/wcm/connect/drewag/75264b72-5d5b-4f48-b5d7-90484ce06e20/Preisblatt-Waermelieferung.pdf?MOD=AJPERES&CVID=lqTz95p>.

- . 2017c. ”Preisgleitfaktoren und Indexwerte”. Stadtwerke Dresden GmbH. <https://www.drewag.de/wps/wcm/connect/drewag/b9a1ca57-3c84-4ff5-bef9-6b33f8cc035c/Preisgleitfaktor-Fernwaerme.pdf?MOD=AJPE-RES&CVID=IZsSvXC>.
- . 2017d. ”Dresdner Fernwärme”. Stadtwerke Dresden GmbH. 23. marraskuuta 2017. https://www.drewag.de/wps/portal/drewag/cms/menu_main/privatkunden/produkte/waerme.
- Elebo, Joi, ja David Petersson. 2013. ”Evaluation of Buildings’ Suitability as Thermal Energy Storage in a District Heating System”. Examensarbete - Institutionen för energi och miljö, Avdelningen för installationsteknik, Chalmers tekniska högskola, nr: E2013:02, Göteborg: Chalmers University of Technology. <http://studentarbeten.chalmers.se/publication/179182-evaluation-of-buildings-suitability-as-thermal-energy-storage-in-a-district-heating-system>.
- Energiavirasto. 2017a. ”Suomen kansallinen energiatehokkuuden toimintasuunnitelma NEEAP-4”. https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/documents/fi_neeap_2017_fi.pdf.
- . 2017b. ”Etusivu”. 27. marraskuuta 2017. <https://www.energiavirasto.fi/fi/home>.
- ENS. 2015. ”Energy Statistics 2015”. Danish Energy Agency. https://ens.dk/sites/ens.dk/files/Statistik/energy_statistics_2015.pdf.
- ET. 2008. ”Kaukolämmön mittaus, Suositus K13/2008”. Energiateollisuus ry. https://energia.fi/files/589/SuositusK13_2008_KL-mittaus.pdf.
- . 2015. ”Kaukolämmön ja -jäähdytyksen tekninen laatu”. KK5/2015. Energiateollisuus ry. https://energia.fi/files/837/RaporttiKK5_2015_Kaukolammon_ja_-jaahdytyksen_tekninen_laatu.pdf.
- . 2016. ”Kaukolämpötilasto 2015”. Energiateollisuus ry. https://energia.fi/files/1184/Kaukolampotilasto_2015.pdf.
- . 2017a. ”Kaukolämmön keskihinta ja tehomaksuun osuus hinnasta vuosina 1990-2006”. Energiateollisuus ry.
- . 2017b. ”Kaukolämpöverkot”. Energiateollisuus ry. 1. elokuuta 2017. https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/kaukolampoverkot.
- . 2017c. ”Kaukolämmön hintatilasto”. Energiateollisuus ry. 20. marraskuuta 2017. https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki/kaukolammon_hintatilasto.html.
- . 2017d. ”Materiaalipankki”. Energiateollisuus ry. 20. marraskuuta 2017. https://energia.fi/ajankohtaista_ja_materiaalipankki/materiaalipankki.

- . 2017e. ”Lämmitysmarkkinat”. Energiateollisuus ry. 27. marraskuuta 2017. https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiamarkkinat/lammitysmarkkinat.
- EU. 2012. *Euroopan parlamentin ja neuvoston direktiivi 2012/27/EU, annettu 25 päivänä lokakuuta 2012, energiatehokkuudesta, direktiivien 2009/125/EY ja 2010/30/EU muuttamisesta sekä direktiivien 2004/8/EY ja 2006/32/EY kumoamisesta*. <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/FI/TXT/?uri=OJ:L:2012:315:TOC>.
- Euroheat & Power. 2017a. ”Country Profiles Archives”. 1. toukokuuta 2017. <https://www.euroheat.org/knowledge-centre/country-profiles/>.
- . 2017b. ”District Energy in Poland”. 1. toukokuuta 2017. <https://www.euroheat.org/knowledge-centre/district-energy-poland/>.
- Eurostat. 2017. ”Population and employment”. 7. syyskuuta 2017. http://ec.europa.eu/eurostat/web/products-datasets/-/namq_10_pe.
- Fernwärme-Gemeinschaft Hamburg. 2017. ”Etusivu”. 6. lokakuuta 2017. <http://www.fernwaerme-gemeinschaft.de/>.
- FMI. 2012. ”Energialaskennan testivuodet”. Ilmatieteen laitos. 10. lokakuuta 2012. <http://ilmatieteenlaitos.fi/energialaskennan-testivuodet-nyky>.
- . 2017a. ”Sääsuureiden keskimääräiset arvot kuukausittain vyöhykkeellä IV (Sodankylä)”. Ilmatieteen laitos. http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=85307a7a-9b2f-46d2-85ee-34dfd0e1f260&groupId=30106.
- . 2017b. ”Sääsuureiden keskimääräiset arvot kuukausittain vyöhykkeillä I+II (Vantaa)”. Ilmatieteen laitos. http://ilmatieteenlaitos.fi/c/document_library/get_file?uuid=ea179863-8219-4945-b62b-8ce0bea041da&groupId=30106.
- Fortum Oyj. 2017. ”Fortum Puolassa”. 4. helmikuuta 2017. <https://www.fortum.com/fi/konserni/fortum-maailmalla/puola/pages/default.aspx>.
- Fortum Puola. 2017a. ”Taryfa dla ciepła”. Fortum Power and Heat Polska. https://www.fortum.com/countries/pl/oferta/cieplo-systemowe/taryfy-ciepła/Documents/Taryfa_Fortum%20Power%20and%20Heat_2017.pdf.
- . 2017b. ”Taryfa dla ciepła”. Fortum Silesia. https://www.fortum.com/countries/pl/serwis-klienta/formularze-i-wnioski/modernizacja_rozbudowa/Documents/Taryfa_Fortum%20Silesia_2017.pdf.
- Fortum Ruotsi. 2017a. ”Produktblad Fjärrvärme Bas”. AB Fortum Värme. <https://www.fortumvarme.se/content/uploads/2017/08/Produktblad-fja%CC%88rrva%CC%88rme-bas.pdf>.
- . 2017b. ”Dagens priser”. AB Fortum Värme. 20. marraskuuta 2017. <https://www.openfjarrvarme.se/dagens-priser/>.

- . 2017c. "Open District Heating®". AB Fortum Värme. 20. marraskuuta 2017. <https://www.opendistrictheating.com/>.
- . 2017d. "Varma fakta om Fortum Värme". AB Fortum Värme. 21. marraskuuta 2017. <https://www.fortumvarme.se/om-fortum-varme/varma-fakta-om-fortum-varme/>.
- Frederiksen, Svend, ja Sven Werner. 2013. *District heating and cooling*. Lund: Studentlitteratur AB.
- Gadd, Henrik, ja Sven Werner. 2014. "Achieving low return temperatures from district heating substations". *Applied Energy* 136 (jouluukuuta):59–67. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.09.022>. ISBN 978-91-44-08530-2
- Gong, Mei, ja Sven Werner. 2015. "Exergy analysis of network temperature levels in Swedish and Danish district heating systems". *Renewable Energy, Sustainable energy utilization in cold climate zone (Part I)*, 84 (jouluukuuta):106–13. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.06.001>.
- Grundahl, Lars, Steffen Nielsen, Henrik Lund, ja Bernd Möller. 2016. "Comparison of district heating expansion potential based on consumer-economy or socio-economy". *Energy, Sustainable Development of Energy, Water and Environment Systems*, 115 (marraskuuta):1771–78. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.094>.
- Göteborg Energi AB. 2017a. "Priser på fjärrvärme för privatpersoner i Göteborg, Partille och Ale". 21. marraskuuta 2017. https://www.goteborgenergi.se/Privat/Produkter_och_priser/Fjarrvarme/Priser.
- . 2017b. "Projekt och etableringar". 21. marraskuuta 2017. https://www.goteborgenergi.se/Privat/Projekt_och_etableringar.
- Harrestrup, M., ja S. Svendsen. 2014. "Heat planning for fossil-fuel-free district heating areas with extensive end-use heat savings: A case study of the Copenhagen district heating area in Denmark". *Energy Policy* 68 (toukokuu):294–305. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2014.01.031>.
- Hedegaard, Karsten. 2014. "Heat Planning for the Greater Copenhagen area". Varneplan Hovedstaden. http://www.varneplanhovedstaden.dk/files/other-files/0000/0132/heat_planning_the_greater_copenhagen_area.pdf.
- Helen Oy. 2017. "Energialähteet maakaasusta pelletteihin". 7. elokuuta 2017. <https://www.helen.fi/helen-oy/tietoa-yrityksesta/energiantuotanto/energialahteet/>.
- HOFOR. 2017. "Prisen på fjernvarme 2017". Hovedstadsområdets Forsyningsselskab. 20. marraskuuta 2017. <http://www.hofor.dk/fjernvarme/prisen-paa-fjernvarme-2017/>.
- HOFOR A/S. 2013. "Fra damp til vand". http://www.hofor.dk/wp-content/uploads/2013/10/fra-damp-til-vand_web.pdf.

- Holm, Johan, ja Jonas Ottosson. 2016. "The Future Development of District Heating in Gothenburg". Examensarbete - Institutionen för energi och miljö, Avdelningen för installationsteknik, Chalmers tekniska högskola, nr: E2013:02, Göteborg: Chalmers University of Technology. <http://studentarbeten.chalmers.se>.
- IEA. 2017. "Energy Policies of IEA Countries - Poland 2016 Review". International Energy Agency. https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Energy_Policies_of_IEA_Countries_Poland_2016_Review.pdf.
- Karjanlahti, Juha. 2012. "Kilpailuviraston kaukolämpöalaa koskevat selvitykset". *Kilpailuviraston vuosikirja 2012*, 2012. <https://www.kkv.fi/globalassets/kkv-suomi/julkaisut/vuosikirjat/kilpailuvirasto/2012/vuosikirja-2012-karjanlahti.pdf>.
- Kensby, Johan, Anders Trüschel, ja Jan-Olof Dalenbäck. 2015. "Potential of residential buildings as thermal energy storage in district heating systems – Results from a pilot test". *Applied Energy* 137 (tammikuu):773–81. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.07.026>.
- Kirkerud, Jon Gustav, Torjus Folsland Bolkesjø, ja Erik Trømborg. 2017. "Power-to-heat as a flexibility measure for integration of renewable energy". *Energy* 128 (kesäkuu):776–84. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.153>.
- Kogeneracja. 2016. "Taryfa dla ciepła". Zespół Elektrociepłowni Wrocławskich Kogeneracja S.A. <http://www.kogeneracja.com.pl/wp-content/uploads/2016/08/Taryfa-dla-ciep%C5%82a-KGN-2016.pdf>.
- Korjus, Taija. 2016. "Kaukolämmön uudet hinnoittelumallit Suomessa ja Ruotsissa sekä niiden kehittyminen markkinoiden mukana". Diplomityö, Espoo: Aalto-yliopisto. <http://urn.fi/URN:NBN:fi:aalto-201605262252>.
- Koskelainen, Lasse, Arto Nuorkivi, Rauli Saarela, ja Kari Sipilä. 2006. *Kaukolämmön käsikirja*. Helsinki: Energiategollisuus ry.
- Kärkkäinen, Seppo, Kari Sipilä, Lauri Pirvola, Juha Esterinen, Esko Eriksson, Sakari Soikkeli, Marjukka Nuutinen, Heikki Aarnio, Frieder Schmitt, ja Claus Eisgruber. 2004. "Demand side management of the district heating systems". VTT Tiedotteita-Research Notes 2247. Espoo. <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/2004/T2247.pdf>.
- Köfinger, Markus, Daniele Basciotti, ja Ralf-Roman Schmidt. 2017. "Reduction of return temperatures in urban district heating systems by the implementation of energy-cascades". *Energy Procedia*, 15th International Symposium on District Heating and Cooling, DHC15-2016, 4-7 September 2016, Seoul, South Korea, 116 (kesäkuu):438–51. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.091>.
- Larsson, Daniel. 2014. "Polish District Heating Sector". Business Sweden. <http://www.business-sweden.se/contentassets/9743a69139444df8a5fdc001167a9291/polish-district-heating-sector.pdf>.

- Lauenburg, P., P. -O. Johansson, ja J. Wollerstrand. 2010. "District heating in case of power failure". *Applied Energy* 87 (4):1176–86. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.08.018>.
- Lauenburg, P., ja J. Wollerstrand. 2014. "Adaptive control of radiator systems for a lowest possible district heating return temperature". *Energy and Buildings* 72 (huhtikuu):132–40. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.12.011>.
- Li, Hailong, Qie Sun, Qi Zhang, ja Fredrik Wallin. 2015. "A review of the pricing mechanisms for district heating systems". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 42 (helmikuu):56–65. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.003>.
- Li, Hongwei, ja Stephen Jia Wang. 2015. "Load Management in District Heating Operation". *Energy Procedia*, Clean, Efficient and Affordable Energy for a Sustainable Future: The 7th International Conference on Applied Energy (ICAE2015), 75 (elokuu):1202–7. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.07.155>.
- Lund, Henrik, Jakob Zinck Thellufsen, Søren Aggerholm, Kim Bjarne Wittchen, Steffen Nielsen, Brian Vad Mathiesen, ja Bernd Möller. 2014. "Heat Saving Strategies in Sustainable Smart Energy Systems". *International Journal of Sustainable Energy Planning and Management* 4 (kesäkuu):3–16. <https://doi.org/10.5278/ijsepm.2014.4.2>.
- Lund, Henrik, Sven Werner, Robin Wiltshire, Svend Svendsen, Jan Eric Thorsen, Frede Hvelplund, ja Brian Vad Mathiesen. 2014. "4th Generation District Heating (4GDH)". *Energy* 68 (huhtikuu):1–11. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2014.02.089>.
- Lund, Rasmus, Danica Djuric Ilic, ja Louise Trygg. 2016. "Socioeconomic potential for introducing large-scale heat pumps in district heating in Denmark". *Journal of Cleaner Production* 139 (joulukuu):219–29. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.07.135>.
- Marinova, Mariya, Catherine Beaudry, Abdelaziz Taoussi, Martin Trépanier, ja Jean Paris. 2008. "Economic Assessment of Rural District Heating by Bio-Steam Supplied by a Paper Mill in Canada". *Bulletin of Science, Technology & Society* 28 (2):159–73. <https://doi.org/10.1177/0270467607313953>.
- Miljö- och energidepartementet. 2017. "Sweden's Fourth National Energy Efficiency Action Plan". https://ec.europa.eu/energy/sites/ener/files/se_neeap_2017_en.pdf.
- Motiva Oy. 2017. "Lämmityksen säätökäyrä ja lämpimän käyttöveden oikea lämpötila". 8. tammikuuta 2017. https://www.motiva.fi/koti_ja_asuminen/taloyhtiot/energiaeksperttitoiminta/lahtotilanteeseen_tutustuminen/lammityksen_saatokayra_ja_lampiman_kayttoveden_oikea_lampotila.

- Münster, Marie, Poul Erik Morthorst, Helge V. Larsen, Lars Bregnbæk, Jesper Werling, Hans Henrik Lindboe, ja Hans Ravn. 2012. "The role of district heating in the future Danish energy system". *Energy*, 6th Dubrovnik Conference on Sustainable Development of Energy Water and Environmental Systems, SDEWES 2011, 48 (1):47–55. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.06.011>.
- Männistö, Jenni, ja Anne Grönberg. 2016. "Digitalisaation vaikutukset kaukolämpöalalla". Deloitte & Touche Oy, Group of Companies. https://energia.fi/files/1343/2016_Digitalisaation_vaiikutukset_FIN.pdf.
- Möttönen, Veli, Kari Nissinen, Terttu Vainio, ja Timo Kauppinen. 2013. "Selvitys huoneistokohtaisten lämpö määrämittareiden ja lämmityskustannusten jakolaitteiden käytön edellytyksistä Suomessa". VTT-CR-07573-13. Teknologian tutkimuskeskus VTT Oy. <http://docplayer.fi/893671-Edellytyksista-suomessa.html>.
- Nord Pool. 2017. "Elspot prices". 7. elokuuta 2017. <http://www.nordpoolspot.com/Market-data1/Elspot/Area-Prices/ALL1/Hourly/>.
- Paiho, Satu, ja Francesco Reda. 2016. "Towards next generation district heating in Finland". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 65 (marraskuu):915–24. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.07.049>.
- Persson, Urban, ja Sven Werner. 2011. "Heat distribution and the future competitiveness of district heating". *Applied Energy* 88 (3):568–76. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.09.020>.
- PKN Orlen. 2016. "Taryfa na ciepło". Polski Koncern Naftowy Orlen S.A. http://www.orklen.pl/PL/DlaBiznesu/EnergiaElektrycznaICieplna/Documents/Taryfa_na_ciep%C5%82o%202017.pdf.
- Ramboll. 2009. "Map of the Integrated Greater Copenhagen District Heating System". State of Green. <https://stateofgreen.com/files/download/53>.
- . 2014. "Map of The Greater Copenhagen District Heating System". State of Green. <https://stateofgreen.com/files/download/2612>.
- . 2017. "District Heating in the Copenhagen Region". State of Green. 20. marraskuuta 2017. <https://stateofgreen.com/en/profiles/ramboll/solutions/district-heating-in-the-copenhagen-region>.
- Rezaie, Behnaz, ja Marc A. Rosen. 2012. "District heating and cooling: Review of technology and potential enhancements". *Applied Energy*, (1) Green Energy; (2) Special Section from papers presented at the 2nd International Energy 2030 Conf, 93 (toukokuu):2–10. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.04.020>.
- Rovaniemen Voima Oy. 2015. "Tiedotteita". 26. helmikuuta 2015. <http://www.mustikka-maanvoimalaitos.fi/Tiedotteita>.

- Sayegh, M. A., J. Danielewicz, T. Nannou, M. Miniewicz, P. Jadwiszczak, K. Piekarska, ja H. Jouhara. 2017. "Trends of European research and development in district heating technologies". *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 68 (helmikuu):1183–92. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.02.023>.
- Song, Jingjing, Hailong Li, ja Fredrik Wallin. 2017. "Cost Comparison Between District Heating and Alternatives During the Price Model Restructuring Process". *Energy Procedia*, 8th International Conference on Applied Energy, ICAE2016, 8-11 October 2016, Beijing, China, 105 (toukokuu):3922–27. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.813>.
- Song, Jingjing, Fredrik Wallin, ja Hailong Li. 2017. "District heating cost fluctuation caused by price model shift". *Applied Energy* 194 (toukokuu):715–24. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2016.09.073>.
- STM. 2015. "Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriön asetus asunnon ja muun oleskelutilan terveydellisistä olosuhteista sekä ulkopuolisten asiantuntijoiden pätevyysvaatimuksista 545/2015". Sosiaali- ja terveystieteiden ministeriö. <http://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2015/20150545>.
- Suomen Eduskunta. 2017. *Energiatehokkuuslaki 1429/2014*. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2014/20141429>.
- Söderholm, Patrik, ja Linda Wårell. 2011. "Market opening and third party access in district heating networks". *Energy Policy*, Special Section on Offshore wind power planning, economics and environment, 39 (2):742–52. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2010.10.048>.
- THL. 2017. "Legionella, ympäristötekijät ja torjuntamahdollisuudet". Terveystieteiden ja hyvinvoinnin laitos. 27. lokakuuta 2017. <http://www.thl.fi/fi/web/ymparistoterveys/vesi/legionellabakteerit-vesijarjestelmissa/ymparistotekijat-ja-torjuntamahdollisuudet>.
- VALOR Partners Oy. 2015. "Kaukolämmön kysyntäjousto". Energiatotalisuus ry. https://energia.fi/files/439/Kaukolammon_kysyntajousto_loppuraportti_VALOR.pdf.
- Vanhoudt, Dirk, Bert Claessens, Robbe Salenbien, ja Johan Desmedt. 2017. "The use of distributed thermal storage in district heating grids for demand side management". *arXiv:1702.06005 [cs]*, helmikuu. <http://arxiv.org/abs/1702.06005>.
- Varmeplan Hovedstaden. 2014. "Udvikling af fjernvarmeforsyningen i Hovedstaden". 30. lokakuuta 2014. <http://www.varmeplanhovedstaden.dk/>.
- Vattenfall Saksa. 2017a. "Faktenblatt Wärme Berlin". Vattenfall Europe Wärme AG. https://www.vattenfall.de/de/file/Faktenblatt_W_rme_Berlin.pdf_117844310.pdf.
- . 2017b. "Preisblatt für Hamburg 3. Quartal". Vattenfall Europe Wärme AG. <https://corporate.vattenfall.elbformat.de/news-app/frame/download/37>.

- . 2017c. "Preisblatt für Berlin 4. Quartal". Vattenfall Europe Wärme AG. https://www.vattenfall.de/de/file/Fernwaerme-Preisblatt-Berlin-Q4-2017.pdf_157637195.pdf.
- . 2017d. "Preisblatt für Hamburg 4. Quartal". Vattenfall Europe Wärme AG. <https://corporate.vattenfall.elbformat.de/news-app/frame/download/43>.
- . 2017e. "Wärme für Hamburg". Vattenfall Europe Wärme AG. <https://corporate.vattenfall.elbformat.de/news-app/frame/download/30>.
- . 2017f. "Preisanpassung Berlin". Vattenfall Europe Wärme AG. 6. lokakuuta 2017. <https://www.vattenfall.de/de/preisanpassung.htm>.
- . 2017g. "Preisanpassung Hamburg". Vattenfall Europe Wärme AG. 6. lokakuuta 2017. <https://www.vattenfall.de/de/preisanpassung-hamburg.htm>.
- VEKS. 2017. "Fjernvarme på Vestegnen". Vestegnens Kraftvarmeselskab I/S. 20. marraskuuta 2017. <http://www.veks.dk/da/varmeproduktion/fjernvarme/fjernvarme-paa-vestegnen>.
- Veolia Varsova. 2015a. "Warszawska sieć ciepłownicza". Veolia Energia Warszawa S.A. 21. tammikuuta 2015. <http://www.energiadlawarszawy.pl/o-nas/warszawska-siec-cieplownicza>.
- . 2015b. "Zdalny odczyt liczników ciepła". Veolia Energia Warszawa S.A. 28. tammikuuta 2015. <http://www.energiadlawarszawy.pl/o-nas/zdalny-odczyt-licznikow-ciepala>.
- . 2017. "Aktualny wyciąg cen oraz stawek opłat stosowanych przez Veolia Energia Warszawa S.A. od dnia 17.03.2017 roku". Veolia Energia Warszawa S.A. http://www.energiadlawarszawy.pl/sites/default/files/pismo_warszawa_zmiana_taryfy_2_0.pdf.
- Vestforbrænding. 2017. "Priser". 20. marraskuuta 2017. <https://www.vestfor.dk/Fjernvarme/Priser>.
- Vähäkangas, Kari, ja Zofia Stelmaszczyk. 2017. "District heating infrastructure in Poland". Export Finland. 9. marraskuuta 2017. <https://www.finpro.fi/web/eng/market-opportunities/district-heating-infrastructure-in-poland>.
- Wang, Haichao, Risto Lahdelma, Xin Wang, Wenling Jiao, Chuanzhi Zhu, ja Pinghua Zou. 2015. "Analysis of the location for peak heating in CHP based combined district heating systems". *Applied Thermal Engineering* 87 (elokuu):402–11. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2015.05.017>.
- Werner, Sven. 2017a. "District heating and cooling in Sweden". *Energy* 126 (toukokuu):419–29. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.03.052>.

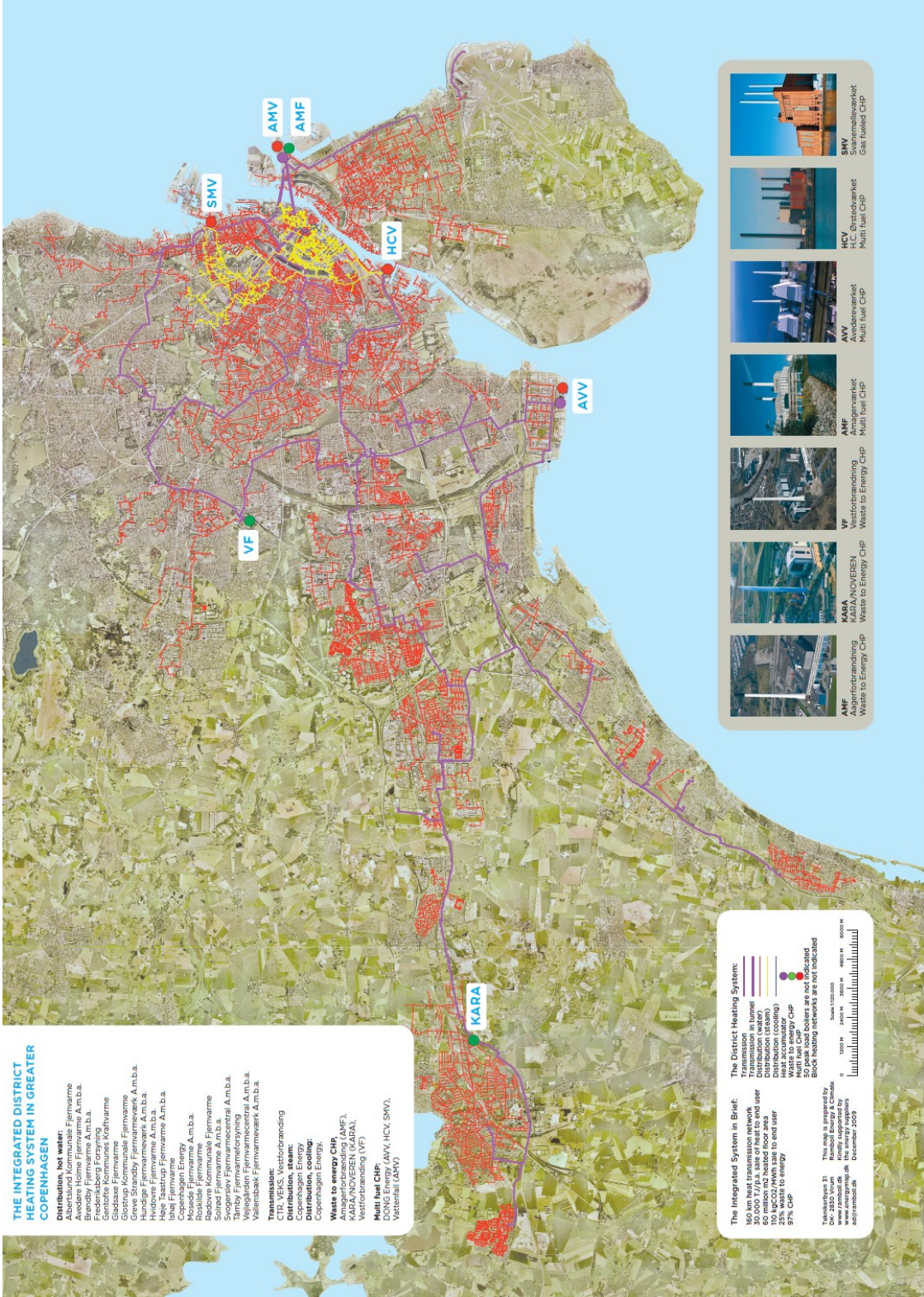
- . 2017b. "International review of district heating and cooling". *Energy* 137 (Supplement C):617–31. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.04.045>.
- Wissner, Matthias. 2014. "Regulation of district-heating systems". *Utilities Policy* 31 (joulukuu):63–73. <https://doi.org/10.1016/j.jup.2014.09.001>.
- Wojdyga, Krzysztof, ja Maciej Chorzelski. 2017. "Chances for Polish district heating systems". *Energy Procedia*, 15th International Symposium on District Heating and Cooling, DHC15-2016, 4-7 September 2016, Seoul, South Korea, 116 (kesäkuu):106–18. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.05.059>.
- Wojdyga, Krzysztof, Maciej Chorzelski, ja Ewelina Rozycka-Wronska. 2014. "Emission of pollutants in flue gases from Polish district heating sources". *Journal of Cleaner Production* 75 (heinäkuu):157–65. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.03.069>.
- Zhang, Junli, Bin Ge, ja Hongsheng Xu. 2013. "An equivalent marginal cost-pricing model for the district heating market". *Energy Policy* 63 (joulukuu):1224–32. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.09.017>.
- Åberg, M., L. Fälting, ja A. Forssell. 2016. "Is Swedish district heating operating on an integrated market? – Differences in pricing, price convergence, and marketing strategy between public and private district heating companies". *Energy Policy* 90 (maaliskuu):222–32. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2015.12.030>.
- Åberg, M., J. Widén, ja D. Henning. 2012. "Sensitivity of district heating system operation to heat demand reductions and electricity price variations: A Swedish example". *Energy*, 23rd International Conference on Efficiency, Cost, Optimization, Simulation and Environmental Impact of Energy Systems, ECOS 2010, 41 (1):525–40. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.02.034>.

Liiteluettelo

Liite 1. Kööpenhaminan alueen kaukolämpöjärjestelmä

Liite 2. Kaukolämpöyhtiöiden kyselytutkimuksessa haastatellut kaukolämpöyhtiöt

Liite 1. Kööpenhaminan alueen kaukolämpöjärjestelmä



Liite 2. Kaukolämpöyhtiöiden kyselytutkimuksessa haastatellut kaukolämpöyhtiöt

Yhtiöt, joilta saatiin haastattelu tähän diplomityöhön sekä niiden kaukolämmön kulutus vuonna 2015:

Fortum Power and Heat Oy	2 797 GWh
Turku Energia Oy Ab	1 751 GWh
Vantaan Energia Oy	1 510 GWh
Oulun Energia Oy	1 320 GWh
Vaasan Sähkö Oy	590 GWh
Pori Energia Oy	560 GWh
Savon Voima Oyj	552 GWh
Lappeenrannan Energia Oy	539 GWh
Vapo Oy	418 GWh

Yhtiöt, joilta saatiin haastattelu REINO-hankkeen toimesta:

Helen Oy	5 985 GWh
Tampereen Sähkölaitos	1 911 GWh
Lahti Energia Oy	1 091 GWh
Kuopion Energia Oy	837 GWh
Keravan Energia Oy	347 GWh

Yhtiöt, joilta ei saatu haastattelua:

Jyväskylän Energia Oy	857 GWh
Elenia Lämpö Oy	843 GWh
Napapiirin Energia ja Vesi Oy	440 GWh